

Rakenteellisen energiatehokkuuden passiivitason malliratkaisut 2012



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



RAKENNUSTEOLLISUUS

Sisällys

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Mineraalivillateollisuuden kohteita | 4 |
| 2.1 | Kohde 1 Vantaa | 4 |
| 2.1.1 | Yleistiedot | 4 |
| 2.1.2 | Sijainti tontilla | 4 |
| 2.1.3 | Rakenteet | 4 |
| 2.1.4 | Talotekniikka | 5 |
| 2.1.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 6 |
| 2.1.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 6 |
| 2.1.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 7 |
| 2.1.8 | Mallirakenteet | 8 |
| 2.2 | Kohde 2 Valkeakoski | 10 |
| 2.2.1 | Yleistiedot | 10 |
| 2.2.2 | Sijainti tontilla | 10 |
| 2.2.3 | Rakenteet | 10 |
| 2.2.4 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 11 |
| 2.2.5 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 12 |
| 2.2.6 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 13 |
| 2.2.7 | Mallirakenteet | 14 |
| 2.3 | Kohde 3 Tuomikylä | 16 |
| 2.3.1 | Yleistiedot | 16 |
| 2.3.2 | Sijainti tontilla | 16 |
| 2.3.3 | Rakenteet | 16 |
| 2.3.4 | Talotekniikka | 17 |
| 2.3.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 17 |
| 2.3.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 18 |
| 2.3.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 18 |
| 2.3.8 | Mallirakenteet | 19 |
| 2.4 | Kohde 4 Hyvinkää | 21 |
| 2.4.1 | Yleistiedot | 21 |
| 2.4.2 | Sijainti tontilla | 21 |
| 2.4.3 | Rakenteet | 21 |
| 2.4.4 | Talotekniikka | 22 |
| 2.4.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 22 |
| 2.4.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 23 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.4.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 23 |
| 2.4.8 | Mallirakenteet | 25 |
| 2.5 | Kohde 5 Ii | 26 |
| 2.5.1 | Yleistiedot | 26 |
| 2.5.2 | Sijainti tontilla | 26 |
| 2.5.3 | Rakenteet | 26 |
| 2.5.4 | Talotekniikka | 27 |
| 2.5.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 27 |
| 2.5.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 28 |
| 2.5.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 28 |
| 2.5.8 | Mallirakenteet | 29 |
| 3 | Puukuituteollisuuden kohteita | 30 |
| 3.1 | Kohde 6 Oulu | 30 |
| 3.1.1 | Yleistiedot | 30 |
| 3.1.2 | Sijainti tontilla | 30 |
| 3.1.3 | Rakenteet | 30 |
| 3.1.4 | Talotekniikka | 31 |
| 3.1.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 31 |
| 3.1.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 32 |
| 3.1.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 32 |
| 3.1.8 | Mallirakenteet | 34 |
| 3.2 | Kohde 7 Oulunsalo | 37 |
| 3.2.1 | Yleistiedot | 37 |
| 3.2.2 | Sijainti tontilla | 37 |
| 3.2.3 | Rakenteet | 37 |
| 3.2.4 | Talotekniikka | 38 |
| 3.2.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 38 |
| 3.2.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 39 |
| 3.2.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 39 |
| 3.2.8 | Mallirakenteet | 41 |
| 4 | PU-teollisuuden kohteita | 44 |
| 4.1 | Kohde 8 Kokkola | 44 |
| 4.1.1 | Yleistiedot | 44 |
| 4.1.2 | Sijainti tontilla | 44 |
| 4.1.3 | Rakenteet | 44 |
| 4.1.4 | Talotekniikka | 45 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 45 |
| 4.1.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 46 |
| 4.1.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 47 |
| 4.1.8 | Mallirakenteet | 48 |
| 4.2 | Kohde 9 Mäntyharju | 49 |
| 4.2.1 | Yleistiedot | 49 |
| 4.2.2 | Sijainti tontilla | 49 |
| 4.2.3 | Rakenteet | 49 |
| 4.2.4 | Talotekniikka | 50 |
| 4.2.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 50 |
| 4.2.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 51 |
| 4.2.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 51 |
| 4.2.8 | Mallirakenteet | 53 |
| 4.3 | Kohde 11 Oulu | 54 |
| 4.3.1 | Yleistiedot | 54 |
| 4.3.2 | Sijainti tontilla | 54 |
| 4.3.3 | Rakenteet | 54 |
| 4.3.4 | Talotekniikka | 55 |
| 4.3.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 55 |
| 4.3.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 56 |
| 4.3.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 56 |
| 4.3.8 | Mallirakenteet | 58 |
| 5 | EPS-teollisuuden kohteita | 59 |
| 5.1 | Kohde 12 Littoinen | 59 |
| 5.1.1 | Yleistiedot | 59 |
| 5.1.2 | Sijainti tontilla | 59 |
| 5.1.3 | Rakenteet | 59 |
| 5.1.4 | Talotekniikka | 60 |
| 5.1.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 61 |
| 5.1.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 61 |
| 5.1.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 62 |
| 5.1.8 | Mallirakenteet | 63 |
| 5.2 | Kohde 13 Littoinen | 64 |
| 5.2.1 | Yleistiedot | 64 |
| 5.2.2 | Sijainti tontilla | 64 |
| 5.2.3 | Rakenteet | 64 |
| 5.2.4 | Talotekniikka | 65 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 66 |
| 5.2.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 66 |
| 5.2.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 67 |
| 5.2.8 | Mallirakenteet | 68 |
| 6 | XPS-teollisuuden kohteita | 69 |
| 6.1 | Kohde 14 Espoo | 69 |
| 6.1.1 | Yleistiedot | 69 |
| 6.1.2 | Sijainti tontilla | 69 |
| 6.1.3 | Rakenteet | 69 |
| 6.1.4 | Talotekniikka | 70 |
| 6.1.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 71 |
| 6.1.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 71 |
| 6.1.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 72 |
| 6.1.8 | Mallirakenteet | 73 |
| 6.2 | Kohde 15 Salo | 76 |
| 6.2.1 | Yleistiedot | 76 |
| 6.2.2 | Sijainti tontilla | 76 |
| 6.2.3 | Rakenteet | 76 |
| 6.2.4 | Talotekniikka | 77 |
| 6.2.5 | Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso | 77 |
| 6.2.6 | Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon | 78 |
| 6.2.7 | Rakenteiden kosteustekninen toimivuus | 78 |
| 6.2.8 | Mallirakenteet | 80 |
| 7 | Viiteluettelo | 83 |

1 Johdanto

Tässä raportissa esitetään olemassa olevista passiivitalokohteista poimittuja turvallisia ja terveellisiä passiivitaso rakenteellisen energiatehokkuuden malliratkaisuja.

Euroopan Unionia kohtaavat ennen näkemättömät haasteet, jotka johtuvat yhä kasvavasta riippuvuudesta energian tuonnista ja niukoista energiavaroista sekä tarpeesta rajoittaa ilmastonmuutosta ja selvitä taluskriisistä. Energiatehokkuus on yksi arvokas keino, jolla näihin haasteisiin voidaan vastata. Se parantaa Unionin energiansaannin varmuutta vähentämällä primäärienergian kulutusta ja energian tuontia. Se auttaa vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä kustannustehokkaalla tavalla ja siten hillitsemään ilmastonmuutosta. Siirtymisen energiatehokkaampaan talouteen pitäisi myös nopeuttaa innovatiivisten teknologisten ratkaisujen leviämistä ja parantaa Unionin teollisuuden kilpailukykyä, mikä edistää talouskasvua ja luo laadukkaita työpaikkoja useilla energiatehokkuuteen liittyvillä aloilla.

EU on asettanut tavoitteekseen vähentää primäärienergian kulutusta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Tästä tavoitteesta on myös tehty yksi älykkääseen, kestäväan ja osallistavaan kasvuun tähtäävän Eurooppa 2020 -strategian viidestä yleistavoitteesta.

EU tuo entistä enemmän energiaa entistä korkeammin hinnoin. Tätä taustaa vasten energiavarojen saatavuus tulee keskipitkällä aikavälillä nousemaan entistä tärkeämpään asemaan, ja se saattaa myös vakavasti vaarantaa EU:n talouskasvun. Tästä syystä energiatehokkuus on yksi keskeinen näkökohta myös Eurooppa 2020 -strategian lippulaivahankkeessa "Resurssitehokas Eurooppa". Energiatehokkuuden parantaminen on kustannustehokkain ja nopein tapa parantaa energian saannin varmuutta, ja se on tehokas keino vähentää ilmastonmuutokseen vaikuttavia kasvihuonekaasupäästöjä.

Suurimmat energiansäästömahdollisuudet liittyvät rakennuksiin. Energian loppukulutuksesta asuinrakennusten, julkisten ja yksityisten toimistojen, kauppojen ja muiden rakennusten osuus on lähes 40 prosenttia. Asuintaloissa tästä menee kaksi

kolmasosaa lämmitykseen. Ilman hyvin lämmöneristettyä rakennusvaippaa ei voida toteuttaa energiatehokkaasti toimivaa rakennusta.

Myös Suomi on sitoutunut kiristämään uudisrakennusten energiatehokkuusmääräyksiä "lähes nollaenergia" -tasoon vuoteen 2020 mennessä. Jotta 1.7.2012 voimaan astuneiden energiamääräysten mukaisesti toteutettujen uudisrakennusten taloudellinen arvo säilyy lähestyttäessä vuotta 2020, tämä sitoumus on järkevää ottaa huomioon jo näiden rakennusten vaipparakenteiden toteuttamisessa.

Tavoitteena on, että uudisrakennusten olisi mahdollista saavuttaa rakennuksen vaipparakenteiden osalta vuoden 2020 määräytason edellyttämän "lähes nollaenergia"-tason vaatimukset. Tämän johdosta "Energiamääräykset 2012" mukaisesti toteutettujen uudisrakennusten on järkevää rakentaa vaipparakenteiden osalta vastaamaan vähintään "passiivitasoa".

Raportin laatimisessa ovat olleet mukana Matti Aronen (UK-Muovi), Asso Erävuoma (Finfoam), Jussi Jokinen (Saint-Gobain Rakennustuotteet), Pekka Kalliomäki (Ympäristöministeriö), Tapio Kilpeläinen (ThermiSol), Pasi Käkelä (SPU), Joonas Risto, Ilkka Romppainen (Ekovilla), Tero Virrantuomi (Paroc) sekä Ari Ilomäki (RTT), Antti Koponen (RTT) ja Tuuli Kunnas (RTT).

Raportti on toteutettu yhteistyössä Ympäristöministeriön kanssa.

Helsingissä heinäkuussa 2012

Ari Ilomäki

Taulukko 1. Kohteiden yhteenveto

| Kohde | Eriste- materiaali | Eriste- paksuus mm | U-arvo W/m ² K | Eriste- materiaali | Eriste- paksuus mm | U-arvo W/m ² K | Eriste- materiaali | Eriste- paksuus mm | U-arvo W/m ² K |
|-------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|
| | Alapohja | | | Ulkoseinä | | | Yläpohja | | |
| 1 | XPS | 280 | 0,11 | MW | 450 | 0,09 | MW+MW | 100+600 | 0,06 |
| 2 | EPS | 420 | 0,07 | MW | 480 | 0,09 | MW | 650 | 0,06 |
| 3 | MW | 300-350 | 0,10 | MW | 400 | 0,10 | MW+MW | 100+600 | 0,06 |
| 4 | XPS | 300-400 | 0,10 | MW | 355 | 0,10 | MW+MW | 25+500 | 0,06 |
| 5 | EPS | 350-400 | 0,09 | MW | 300 | 0,12 | MW+MW | 100+600 | 0,06 |
| 6 | WF | 400 | 0,10 | WF | 390 | 0,10 | WF | 600 | 0,08 |
| 7 | WF | 500 | 0,08 | WF | 425 | 0,10 | WF | 525 | 0,08 |
| 8 | EPS+ IR-EPS | 150+100 | 0,12 | MW+PU | 200+90 | 0,09 | PU+MW | 30+470 | 0,07 |
| 9 | PU | 250 | 0,09 | PU | 250 | 0,10 | PU | 320 | 0,07 |
| 10 | PU | 260 | 0,07 | PU | 280 | 0,09 | PU | 360 | 0,07 |
| 11 | IR-EPS | 350 | 0,08 | EPS+ IR-EPS | 160+150 | 0,12 | MW | 700 | 0,08 |
| 12 | IR-EPS | 400 | 0,05 | EPS+ IR-EPS | 118+200 | 0,10 | MW+WF | 100+700 | 0,05 |
| 13 | XPS | 210 | 0,13 | MW+XPS | 45+280 | 0,11 | XPS | 340 | 0,09 |
| 14 | XPS | 300 | 0,10 | XPS | 400 | 0,07 | MW+XPS | 50+400 | 0,07 |

Taulukossa 1 käytetyt eristemateriaalien lyhenteet:

EPS = Paisutettu polystyreeni

IR-EPS = Tehostetusti IR-säteilyä absorboiva paisutettu polystyreeni

MW = Mineraalivilla

PU = Polyuretaani

WF = Puukuitu

XPS = Suulakepuristettu polystyreeni

2 Mineraalivillateollisuuden kohteita

2.1 Kohde 1 Vantaa

2.1.1 Yleistiedot

Kohde on Uudellamaalla sijaitseva 183 m² yksikerroksinen eristerapattu harkkotalo. Se on kahden perheen paritalo, joka on valmistunut vuonna 2009. Paritalosta tarkasteltavan asunnon tilat jakaantuvat asuin- ja kellarikerrokseen. Rakennuksen kantava runko on toteutettu betonielementeistä, joiden ulkopinnassa on lämmöneristyskerros. Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on poistoilmalämpöpumppu ja huonekohtaiset tuloilma-venttiileissä olevat sähkölämmittimet.

2.1.2 Sijainti tontilla

Suurin osa rakennuksen ikkunoista on suunnattu itään. Passiivitalolle tyypillistä rakennuksen suuntausta ei ole tehty, koska asemakaava määrittä rakennuksen sijainnin tontilla.

2.1.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on maanvarainen teräsbetonialapohja. Alapohjassa on salaojiin kallistetun perusmaan päällä tiivistetty kapillaarinousun estävä sorakerros. Sorakerroksen päällä on lämmöneristykseenä 280 mm XPS-eristettä, jonka päälle on valettu 80 mm teräsbetonilaatta. Lämmöneristekerroksen ja laatan välissä on suojapaperi, jonka tarkoituksena pienentää kitkaa laatan ja alusrakenteiden välillä sekä estää betonimassan valuminen eristelevyjien väleihin. Rakennuksen betoniset perustukset on routaeristetty joka puolelta XPS-eristeellä. Alapohjan U-arvo on 0,11 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksen runko on teräsbetonirakenteinen, joka on toteutettu 150 mm betonielementeillä. Betonielementin ulkopinta on sääsuojattu ja oikaistu ohuella laastirappauksella. Kellarin maanvastaisen seinän sisäpinta on rapattu ja ulkopuoleisen laastikerroksen pintaan on kiinnitetty laastilla 430 mm kivivillaista rappausaluseristettä. Eristeen pinta on ohutrapattu ja suojattu kosteudelta patolevyllä. Rakennuksen ensimmäisen kerroksessa betonielementin sisäpinta on rapattu ja ulkopintaan on kiinnitetty laastilla 450 mm kivivillaista rappausaluseristettä, jonka pinta on viimeistelty ohutrappauksella. Ulkoseinien U-arvot ovat 0,09 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurunkoinen harjakatto, jonka katemateriaalina on tiili. Katemateriaalin alla on käytetty kondenssisuojattua aluskatetta. Yläpohja on kannatettu katto-
tuoleilla, joiden väliin on asennettu 100 mm pehmeää kivivillalevyä, jonka päällä on 600 mm puhalluskivivillaa. Kattoristikoiden alapinnassa kiertää yhtenäinen höyrynsulkuovi, jonka saumat on teipattu ja tuettu. Höyrynsulun sisäpinnassa on harvalaudoitusta sisäkaton verhoukselle. Yläpohjarakenteen U-arvo 0,06 W/m²K.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on puiset matalaenergiaikkunat, joissa on passiivirakentamiseen tarkoitettut erikoiskarmit. Kiinteissä ikkunoissa on kolminkertainen ja avattavissa nelinkertainen lasitus. Ikkunat ovat U-arvoltaan 0,76 ja 0,85 W/m²K. Ulko-ovet ovat energiatehokkaita massiivipuuovia, jotka ovat U-arvoltaan 0,50 W/m²K.

2.1.4 Talotekniikka

Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on poistoilmalämpöpumppu ja huonekohtaiset tuloilmaventtiileissä olevat sähkölämmittimet sekä hitaasti lämpöä luovuttava takka. Poistoilmalämpöpumppuun on kytketty maaputkisto, joka toimii lämmönvaihtimena. Talvisin maaputkisto esilämmittää ilmaa ja kesäisin se toimii jäähdytysyksikkönä. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on 0,5 1/h. Huonekohtainen ilmanlämmitys on tilapäisiä lämmöntarpeita varten ja se tapahtuu ilmanvaihtojärjestelmän sisään puhalluk-

seen liitetyn huonekohtaisen, termostaattiohjatun lämpövarustuksen kautta. Asunnon märkätiloissa on lattialämmitys. Rakennuksen mitattu sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään 20 °C ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan 24 °C.

2.1.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiankulutuksen tarkasteluajanjakson 1/2011 - 1/2012 aikana asunnossa asui 2 aikuista.

| Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 183,0 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 490,0 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,34 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 90,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 16 057 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | 10 400 | kWh/a |
| Lämmitys | 4 600 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 69 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 149 | kWh/(m ² a) |

2.1.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi asukkaiden tyytyväisyys asunnonlämpömukavuuteen kesäisin ja talvisin. Heillä on hyvä mahdollisuus säätää lämmitysjärjestelmästä asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma puhtaaksi ja raikkaaksi, mutta talvisin melko kuivaksi. Sisäilman kuivuus talvisin johtuu ilmastointilaitteen sisään tuomasta kuivasta ulkoilmasta, jota lämmitetään tuloilmaventtiileissä olevilla sähkölämmittimillä. Asukkaat voivat hyvin säätää ilmastointijärjestelmänsä ja kokevat asunnon erittäin hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja saavat sopivasti suoraa auringonvaloa kesäisin ja talvisin. Asunnossa ei ole tarvinnut suorittaa korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä sen valmistumisen jälkeen.

2.1.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

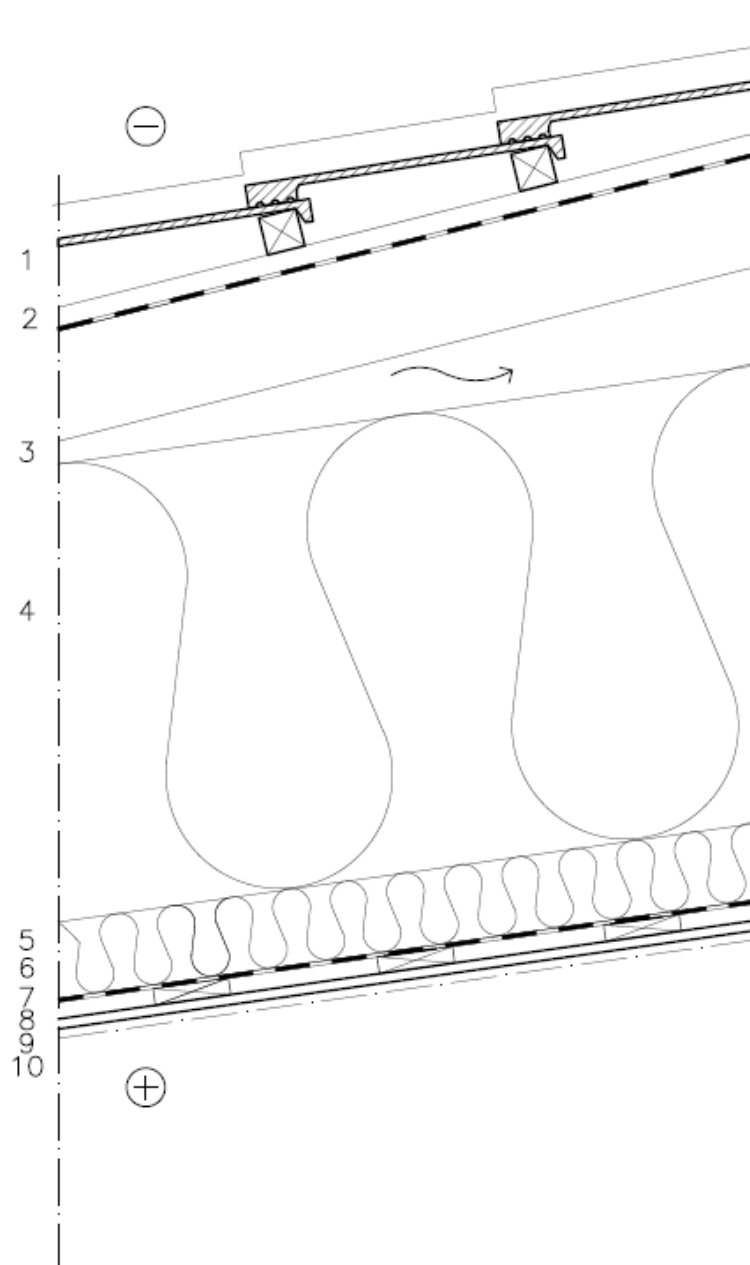
VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen yläpohjarakenteen (YP 10) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen. Sen riskit ovat samoja ulkopuolen veden tunkeutumisesta aiheutuvia kuin millä tahansa vastaavasti toteutetulla yläpohjaratkaisulla.

Ulkoseinärakenteen sisäkuori on betonia, jonka diffuusiovastus on merkittävästi suurempi kuin ulkorappauksen, joten sisäpuolisen kosteuden kumulatiivista kerääntymisvaaraa ei ole. Eristyskerroksen paksuus ei vaikuta rakenteen suhteelliseen lämpötilajakautumaan, joten ns. kondenssiongelmat ovat samankaltaisia eristepaksuudesta riippumatta. Tässä tapauksessa päätelmänä on, että rakenneratkaisu on kosteusteknisesti toimiva.

Kohteen alapohjarakenne on kosteusteknisesti toimiva ja toimivuuden edellytykset ovat samat kuin yleensä maanvaraisissa alapohjarakenteissa.

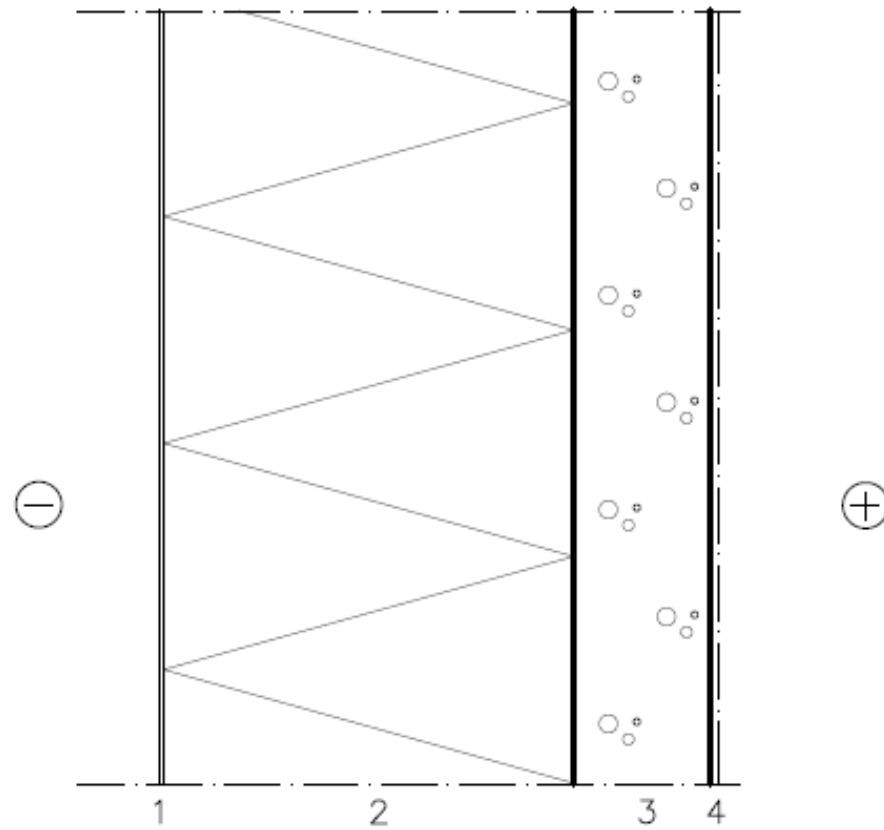
2.1.8 Mallirakenteet

Kuvassa 1 esitetään mineraalivillateollisuuden kohteeseen 1 pohjautuva yläpohjan mallirakenne



- | | |
|--------|--------------------------------------|
| | 1 VESIKATE |
| | 2 ALUSKATE |
| | 3 TUULETTUVA ULLAKKO |
| 600 mm | 4 LÄMMÖNERISTE, puhalluskivivilla |
| 100 mm | 5 LÄMMÖNERISTE, pehmeä kivivillalevy |
| | 6 KANTAVA RAKENNE |
| | 7 HÖYRYNSULKU |
| 22 mm | 8 HARVALAUDOITUS, 22x100 mm, k300 |
| 13 mm | 9 RAKENNUSLEVY, kipsilevy |
| | 10 PINTAMATERIAALI TAI -KÄSITTELY |
| | U-arvo 0,06 W/m ² K |

Kuvassa 2 esitetään mineraalivillateollisuuden kohteeseen 1 pohjautuva ulkoseinän mallirakenne



- 450 mm
150 mm
- 1 OHUTRAPPAUS
 - 2 RAPPAUSALUSERISTE, kivivilla
 - 3 KANTAVA RAKENNE
 - 4 PINTAMATERIAALI TAI -KÄSITTELY

U-arvo 0,09 W/m²K

2.2 Kohde 2 Valkeakoski

2.2.1 Yleistiedot

Kohde on Pirkanmaalla sijaitseva 251 m² puolitoistakerroksinen omakotitalo. Se on yhden perheen omakotitalo, joka on valmistunut vuonna 2009. Rakennus on puurunkoinen ja se on toteutettu puuelementeillä. Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys ja huonekohtaiset tuloilmaventtiileissä olevat sähkölämmittimet.

2.2.2 Sijainti tontilla

Rakennuksen lappeet ovat pohjois-etelä suuntaan. Etelä puolen ikkunat ovat kooltaan pienempiä kuin pohjoispuolella ja ne on aurinkosuojattu pitkällä kattoräystäällä.

2.2.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on maanvarainen alapohja. Alapohjassa perusmaan päällä on tiivistetty kapillaarinousun estävä sorakerros. Sorakerroksen päällä on lämmöneristyksenä 420 mm EPS-eristettä, jonka päälle on valettu 80 mm teräsbetonilaatta. Perustukset on tehty käyttäen perustusvalumuottia, jonka avulla valetaan antura ja sokkeli samanaikaisesti (ks. kohta 5.1.8). Valmismuotin runkomateriaalina on lattia- ja routaeristeenä käytettävä EPS eriste, myös anturan alapuoli on eristetty. Routaeristyksenä on 100 mm EPS-eristettä, joka on ulotettu 1,5 metrin etäisyydelle sokkelista. Alapohjan U-arvo on 0,07 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksen puurunkoinen ulkoseinä on toteutettu puuelementeillä. Myös kaarevat osat seinästä on valmistettu tehtaalla CNC -työstöllä. Elementeissä on lämmöneristyksenä 410 mm kivivillaa, jonka pinnalla on tuulensuojana 70 mm -

tuulensuojaeriste. Siten eristyskerroksen kokonaispaksuus on 480 mm. Julkisivun pinta on rapattu. Ulkoseinän U-arvo on $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Yläpohja

Harjaltaan kaareva katto koostuu puisista kattoelementeistä ja kattotuoleista. Yläpohjan lämmöneristeenä on 650 mm kivivillalevyä. Yläpohjan U-arvo $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on energiatehokkaat ikkunat, joissa on nelinkertainen lasitus sekä tehokas aurinkosuoja. Ikkunat ovat U-arvoltaan $0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ulko-ovet ovat matala-energiatasoisia ovia, joiden U-arvo on $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Talotekniikka

Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on ilma-vesilämpöpumpulla lämmitettävä vesikiertoinen lattialämmitys ja huonekohtaiset tuloilmaventtiileissä olevat sähkölämmittimet. Alakerrassa ja peseytymistiloissa on vesikiertoinen lattialämmitys, joka lämmitetään pääosin ilma-vesilämpöpumpulla. Yläkerran huoneissa olevaa huonekohtaista ilmanlämmitystä käytetään tilapäisissä lämmöntarpeissa, joka tapahtuu ilmanvaihtojärjestelmän sisään puhallukseen liitetyn huonekohtaisen, termostaattiohjatun lämpövastuksen kautta. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on $0,3 \text{ (1/h)}$. Rakennuksen mitattu sisälämpötila on läpi vuoden $23 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.2.4 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkasteluajanjakson 1/2011 - 1/2012 aikana asunnossa asui kaksi aikuista ja kaksi lasta.

| Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 251,6 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 810,0 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,50 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 87,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 21 960 | kWh/a |
| Lämmitys | 9 582 | kWh/a |
| Ilmanvaihtokone | 3 426 | kWh/a |
| Valaistus | 1 568 | kWh/a |
| Lämmin käyttövesi | 3 028 | kWh/a |
| Käyttäjän energia | 4 356 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | 19 066 | kWh/a |
| Lämmitys | 6 688 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 77 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 121 | kWh/(m ² a) |

2.2.5 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi asukkaiden tyytyväisyys asunnonlämpökavuuteen kesäisin ja talvisin. Heillä on hyvä mahdollisuus säätää lämmitysjärjestelmästä asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma puhtaaksi ja raikkaaksi. Asukkailla on mahdollisuus säätää ilmastointijärjestelmänsä ja kokevat asunnon erittäin hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja saavat sopivasti suoraa auringonvaloa kesäisin ja talvisin. Asunnossa on jälkeempään lisäeristetty ilmastointilaitteen tuloputki. Muita korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä ei ole rakennuksen valmistumisen jälkeen tarvinnut suorittaa.

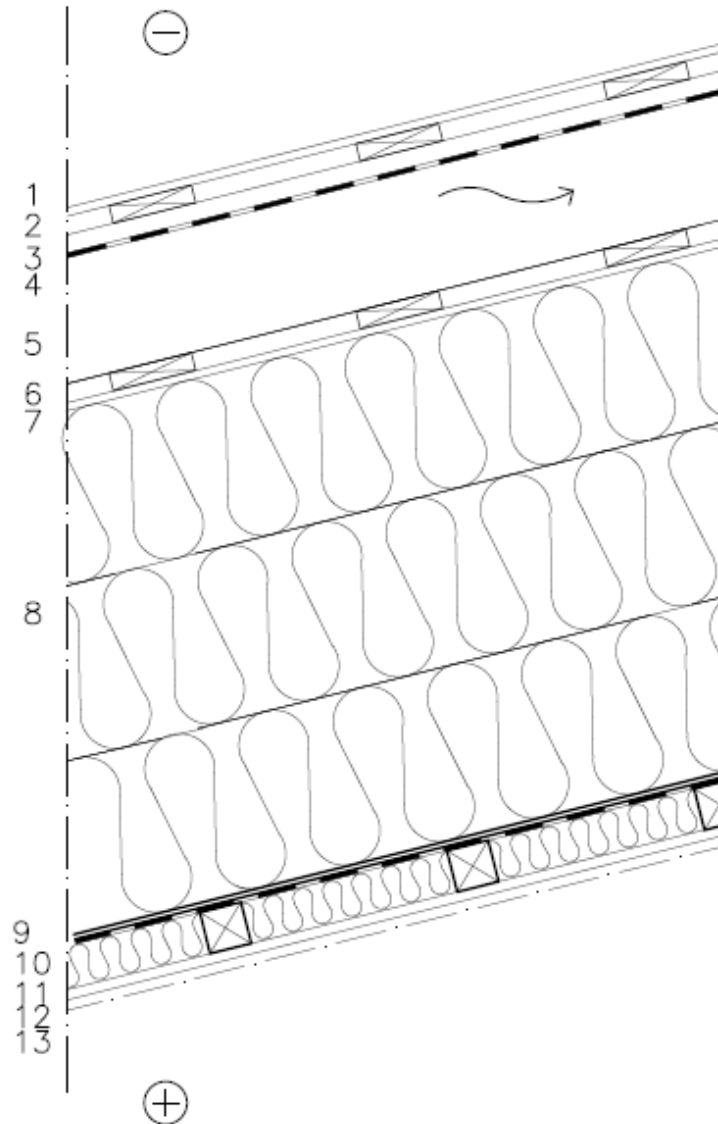
2.2.6 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

Rakennukselle on tehty erillinen VTT:n kosteustekninen toimivuustarkastelu /2/, joka osoittaa ulkoseinän ja yläpohjan osalta, että rakenteet ovat hyvin toimivia ja riskittömiä.

Kohteen alapohjarakenne on kosteusteknisesti toimiva ja toimivuuden edellytykset ovat samat kuin yleensä maanvaraisissa alapohjarakenteissa.

2.2.7 Mallirakenteet

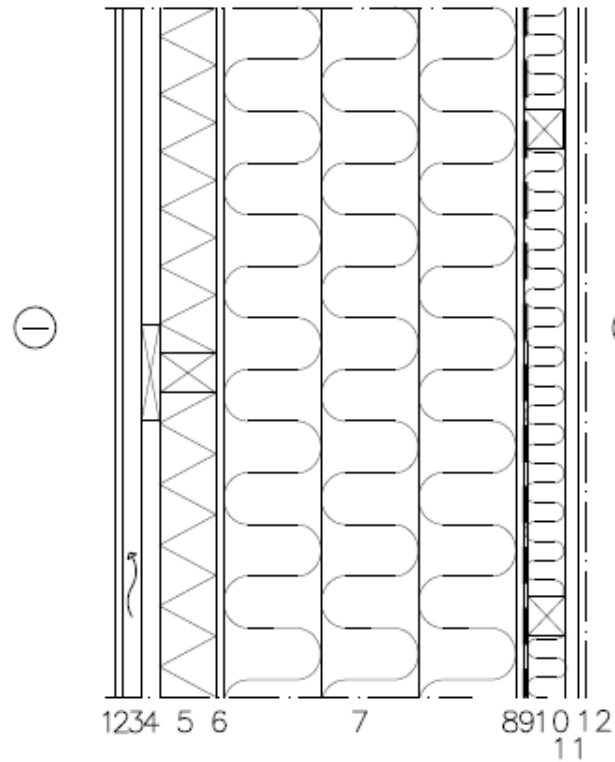
Kuvassa 1 esitetään mineraalivillateollisuuden kohteeseen 2 pohjautuva yläpohjan mallirakenne



| | |
|--------|--|
| | 1 KONESAUMATTU OHUTLEVYKATE, maalattu |
| 22 mm | 2 HARVALAUDOITUS, räystäällä umpilaudoitus |
| 22 mm | 3 KOROTUSRIMA |
| | 4 ALUSKATE |
| 148 mm | 5 TUULETUSRAKO |
| 22 mm | 6 HARVALAUDOITUS |
| 9 mm | 7 TUULENSUOJAKIPSILEVY |
| 600 mm | 8 LÄMMÖNERISTE, kivivilla, KERTOPUUPALKISTO |
| 6,5 mm | 9 HAVUVANERI |
| | 10 ILMAN- JA HÖYRYNSULKU |
| 48 mm | 11 LÄMMÖNERISTE, kivivilla ja KOOLAUS 48x48 mm, k300 |
| 12 mm | 12 VANERIVERHOUS |
| | 13 PINTAMATERIAALI TAI KÄSITTELY |

U-arvo 0,06 W/m²K

Kuvassa 2 esitetään mineraalivillateollisuuden kohteeseen 2 pohjautuva ulkoseinän mallirakenne



- | | |
|--------|--|
| | 1 VÄRILAASTIRAPPAUS |
| | 2 RAPPAUSLEVY |
| 22 mm | 3 TUULETUSVÄLI |
| 22 mm | 4 KOOLAUS 22X100 |
| 70 mm | 5 TUULENSUOJAERISTE, kivivilla, KOOLAUS, koolauksen väli 1200 mm |
| 9 mm | 6 TUULENSUOJAKIPSILEVY |
| 360 mm | 7 LÄMMÖNERISTE, kivivilla, KERTOPIEURUNKO 45X360 mm |
| 9 mm | 8 HAVUVANERI |
| | 9 HÖYRYN- JA ILMANSULKU |
| 48 mm | 10 LÄMMÖNERISTE, kivivilla, KOOLAUS 48x48 mm, k600 |
| 13 mm | 11 KIPSILEVY 13 mm |
| | 12 PINTAMATERIAALI TAI -KÄSITTELY |

U-arvo 0,09 W/m²K

2.3 Kohde 3 Tuomikylä

2.3.1 Yleistiedot

Kohde on Etelä-Pohjanmaalla sijaitseva 140 m² yksikerroksinen omakotitalo. Omakotitalo on puurunkoinen ja se on valmistunut vuonna 2010. Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on huonekohtaiset tuloilmaventtiileissä olevat sähkölämmittimet.

2.3.2 Sijainti tontilla

Rakennuksen lappeet ovat itä-länsi suuntaan. Varjostuksena ovat etelä ja länsi puolilla terassin ja kuistin katot sekä tontille jätetty puusto. Rakennuksen ikkunoissa aurinkosuojauksena ovat kaihtimet, jotka on sijoitettu ikkunan uloimman lasin sisäpintaan.

2.3.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on maanvarainen alapohja. Alapohjassa salaojiin kallistetun perusmaan päällä on tiivistetty kapillaarinousun estävä sorakerros. Sorakerroksen päällä on lämmöneristyksenä sisäalueella 300 mm ja reuna-alueilla 350 mm kivivillaa, jonka päälle on valettu 80 mm teräsbetonilaatta. Sokkelin sisäpinnassa on 200 mm kivivillaa. Alapohjan U-arvo on 0,10 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksessa on puurunkoinen ulkoseinä, jonka kokonaispaksuus on 460 mm. Ulko-verhouspaneelin takana on 25 mm pystykoolaus, joka toimii rakenteen tuuletusrakona. Koolauksen takana on tuulensuojana 9 mm tuulensuojakipsilevy. Ulkoseinärunko koostuu kahdesta kantavasta pystyrungosta, joiden välissä on 150 mm lämmöneristysväli. Ulkopuolen pystyrunko tehty 45x145 mm puutavarasta, jonka välissä on lämmöneristyksenä 150 mm pehmeää kivivillaa. Sisäpuolen pystyrunko on tehty 45x95 puutavarasta, jonka välissä on lämmöneristyksenä 100 mm pehmeää kivivillaa. Höyrynsulku on

sisäpuoleisen rungon sisäpinnassa. Höyrinsulun päällä on sisäverhouslevynä 13 mm kipsilevy. Ulkoseinän U-arvo on 0,10 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurunkoinen harjakatto, jonka katemateriaalina on tiili. Katemateriaalin alla on käytetty kondenssisuojattua aluskatetta. Yläpohja on kannatettu kattoristikoin, joiden välissä on lämmöneristyksenä 100 mm mineraalilevyvillaa ja 600 mm puhalluskivivillaa. Kattoristikoiden alapinnassa kiittää yhtenäinen höyrinsulkumuovi, jonka saumat on teipattu ja tuettu. Höyrinsulun sisäpinnassa on 30 mm koolaus sisäkaton verhoukselle. Yläpohjarakenteen U-arvo 0,06 W/m²K.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on matalaenergiaikkunat, jotka ovat kaksipuitteisia ja nelilasisia puu-alumiini-ikkunoita. Ikkunat ovat U-arvoltaan 0,85 W/m²K. Ulko-ovet vakiomallisia ovia, jotka ovat U-arvoltaan 0,92 – 1,0 W/m²K.

2.3.4 Talotekniikka

Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on huonekohtaiset tuloilmaventtiileissä olevat sähkölämmittimet. Huonekohtainen ilmanlämmitys tapahtuu ilmanvaihtojärjestelmän sisään puhallukseen liitetyn huonekohtaisen, termostaattiohjatun lämpövastuksen kautta. Rakennuksen märkätiloissa on lattialämmitys. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on 0,5 (1/h). Ilmanvaihtokoneessa on kesäyöviilennys ja tuloilmanvalitsin. Rakennuksen mitattu sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään 21 °C ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan 26 °C.

2.3.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkastelujakson 1/2011 - 1/2012 aikana asunnossa asui 2 aikuista. Omakotitalo käyttää lämmitykseen pelkästään sähköenergiaa, eikä siinä ole käytössä mitään tukevia järjestelmiä. Tämä aiheuttaa uuden RakMK D3 2012 mukaisen laskennallisen E-luvun nousun korkeaksi.

| Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 140,0 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 365,0 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,40 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 77,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 15 107 | kWh/a |
| Lämmitys | 3 463 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | 10 000 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 92 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 183 | kWh/(m ² a) |

2.3.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaalle tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi asukkaan on tyytyväisyys asunnonlämpömukavuuteen kesäisin ja talvisin. Hänellä on hyvä mahdollisuus säätää lämmitysjärjestelmästä asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma raikkaaksi ja melko puhtaaksi. Asukas voi hyvin säätää ilmastointijärjestelmäänsä ja kokee asunnon erittäin hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja saavat sopivasti suoraa auringonvaloa kesäisin ja talvisin. Asunnossa on vaihdettu ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton ohjainkortti. Muita korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä ei ole valmistumisen jälkeen tarvinnut suorittaa.

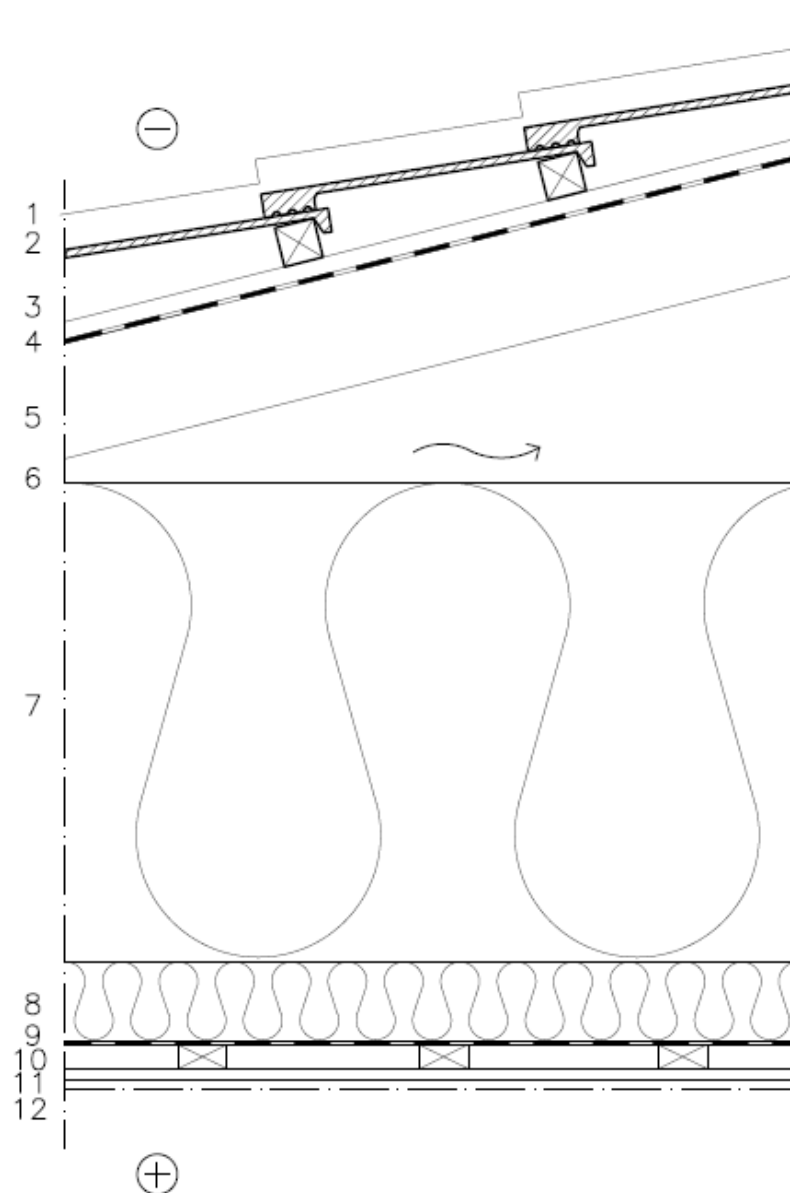
2.3.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen ulkoseinärakenteen (US 10) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen.

VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen yläpohjarakenteen (YP 10) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen. Sen riskit ovat samoja ulkopuolen veden tunkeutumisesta aiheutuvia kuin millä tahansa vastaavasti toteutetulla yläpohjaratkaisulla.

2.3.8 Mallirakenteet

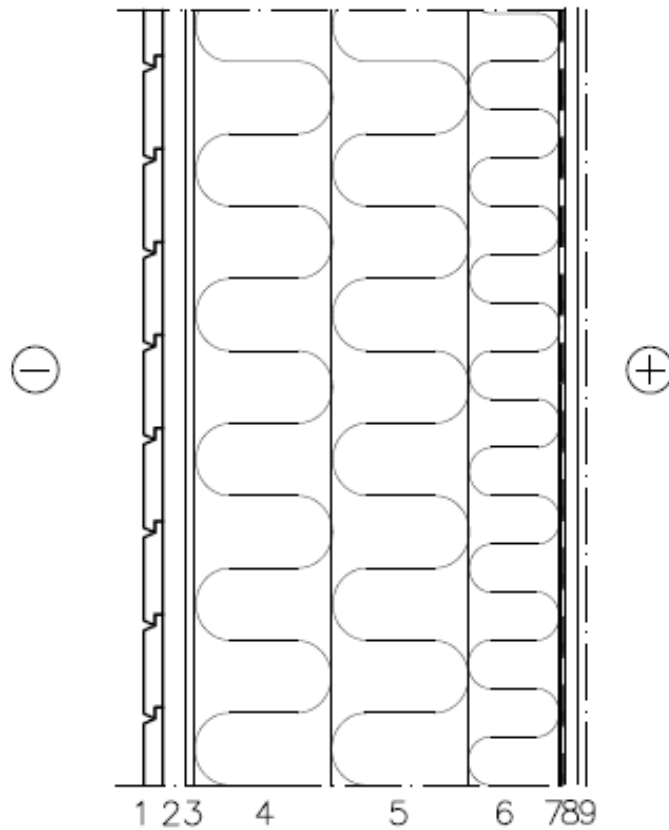
Kuvassa 1 esitetään mineraalivillateollisuuden kohteeseen 6 pohjautuva yläpohjan mallirakenne



- | | |
|--------|--|
| | 1 VESIKATE |
| | 2 RUOTEET |
| | 3 TUULETUSRIMAT 22x50 mm |
| | 4 KONDENSSENSUOJATTU ALUSKATE |
| | 5 TUULETTUVA ULLAKKO |
| | 6 KATTORISTIKOT, k900 |
| 600 mm | 7 LÄMMÖNERISTE, puhalluskivivilla |
| 100 mm | 8 LÄMMÖNERISTE, kivivillalevy |
| | 9 HÖYRYNSULKU, saumat teipattu/ tuettu |
| 30 mm | 10 KOOLAUS 30x65 mm K300 |
| | 11 SISÄKATTOVERHOUS |
| | 12 PINTAMATERIAALI TAI KÄSITTELY |

U-arvo 0,06 W/m²K

Kuvassa 2 esitetään mineraalivillateollisuuden kohteeseen 6 pohjautuva ulkoseinän mallirakenne



| | |
|--------|--|
| 23 mm | 1 VAAKAPANEELI 23x145 mm |
| 25 mm | 2 TUULETUSVÄLI, pystykoolaus 25x100 mm |
| 9 mm | 3 TUULENSUOJAKIPSILEVY |
| 150 mm | 4 LÄMMÖNERISTE, kivivilla, PYSTYRUNKO 45x145 mm k600 |
| 150 mm | 5 LÄMMÖNERISTE, kivivilla |
| 100 mm | 6 LÄMMÖNERISTE, kivivilla, PYSTYRUNKO 45x95 mm k600 |
| | 7 HÖYRYNSULKU |
| 13 mm | 8 KIPSILEVY |
| | 9 PINTAMATERIAALI TAI -KÄSITTELY |

U-arvo

0,10 W/m²K

2.4 Kohde 4 Hyvinkää

2.4.1 Yleistiedot

Kohde on Uudellamaalla sijaitseva 189 m² puolitoistakerroksinen omakotitalo, joka on valmistunut vuonna 2010. Rakennus on puurunkoinen ja sen lämmitysjärjestelmänä on suoralla sähköllä lämmitettävä patterilämmitys ja aurinkolämpökeräimet.

2.4.2 Sijainti tontilla

Rakennuksen kapea sivu on itä-länsi suuntaan ja lappeet pohjois-etelä suuntaan. Rakennuksen eteläpuolella on automaattisesti avautuvat markiisit ja lännen suunnassa on automaattisesti laskeutuvat ulkopuoliset varjostimet.

2.4.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on maanvarainen alapohja. Salaojiin kallistetun perusmaan päällä on tiivistetty kapillaarinousun estävä sorakerros. Sorakerroksen päällä on reuna-alueilla lämmöneristyksenä 400 mm ja keskialueella 300 mm XPS-eristettä, jonka päälle on valettu 80 mm paksu teräsbetonilaatta. Rakennuksen routaeristyksenä on 100 mm XPS-eristettä, joka on ulotettu 2,0 metrin etäisyydelle sokkelista. Sokkelin sisäpinnassa on 100 mm XPS-eristettä. Alapohjan U-arvo on 0,10 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksessa on puurunkoinen ulkoseinä, jonka kokonaispaksuus on 445 mm. Ulko-verhouspaneelin takana on 22 mm puutavarasta tehty ristikoolaus, joka toimii rakenteen tuuletusrakona. Koolauksen alla on tuulensuojana 80 mm tuulensuojaeristelevy ja 9 mm tuulensuojakipsilevy. Rakennuksen runko tehty 48x223 mm puutavarasta, jonka välissä on lämmöneristyksenä 225 mm mineraalivillalevyä. Höyrynsulku on asennettu rungon sisäpintaan. Sisäpuolella on 48 mm puutavarasta vaakakoolaus, jonka välissä on lämmöneristeenä 50 mm mineraalivillalevyä. Ulkoseinän U-arvo on 0,10 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurunkoinen harjakatto, jonka katemateriaalina on tiili. Yläpohja on kannatettu kattoristikoin, joiden alapuolelle on lämmöneristyksenä 25 mm jäykkä alumiinipinnoitteinen mineraalivillalevy. Eristelevy toimii yläpohjan höyrynsulkuna. Yläpohjan suoralla osuudella on kattoristikoiden välissä lämmöneristyksenä 500 mm eristevillaa ja vinolla osuudella lämmöneristyksenä 450 mm mineraalivillaa, jonka päällä tuulensuojana 50 mm tuulensuojaeristelevy. Eristelevyn sisäpinnassa on 32 mm koolaus sisäkaton verhoukselle. Yläpohjarakenteen suoran osuuden U-arvo $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja vinon osuuden U-arvo $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on matalaenergiaikkunat, jotka ovat kaksipuitteisia puualumiiniikkunoita. Molemmissa puitteissa on kaksinkertainen selektiivinen eristyslasi argonkaasulla. Ikkunoiden ulkopuitteet on tehty komposiitista. Ikkunat ovat U-arvoltaan $0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja g-arvoltaan 0,45. Ulko-ovet ovat kertopuurakenteisia rungoltaan ja ovien lasituksissa on käytetty kolminkertaista selektiivilasitusta. Ulko-ovet ovat U-arvoltaan $0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.4.4 Talotekniikka

Rakennuksen lämmönjakojärjestelmänä ovat suoralla sähköllä toimivat patterit huonekohtaisella säätömahdollisuudella, aurinkolämpökeräimet sekä varaava takka. Rakennuksen koneellisen ilmanvaihdon yhteydessä on esilämmitys- ja esijäähdytysjärjestelmänä maaputkisto. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on 0,5 (1/h). Rakennuksen mitattu sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään $21 \text{ }^\circ\text{C}$ ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan $23 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.4.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkastelujakson 1/2011 - 1/2012 aikana asunnossa asui 2 aikuista ja lapsi.

Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus

| | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 189,0 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 472,0 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,58 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 75,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 19 400 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | 14 583 | kWh/a |
| Lämmitys | 6 800 | kWh/a |
| Polttoaine (puu) | 1 600 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 104 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 154 | kWh/(m ² a) |

2.4.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi asukkaiden tyytyväisyys asunnonlämpömuukavuuteen talvisin ja kesäisin. Heillä on hyvä mahdollisuus säätää lämmitysjärjestelmästä asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Kesäisin yläkerrassa sijaitsevan makuuhuoneen lämpötila koettiin lämpimäksi ja ilmanlaatu melko hyväksi. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma puhtaaksi ja raikkaaksi. Asukkailla on mahdollisuus säätää ilmastointijärjestelmänsä ja kokevat asunnon erittäin hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja ne saavat sopivasti suoraa auringonvaloa kesäisin ja talvisin. Asunnossa ei ole tarvinnut suorittaa korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä rakennuksen valmistumisen jälkeen.

2.4.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

Rakennukselle on tehty erillinen VTT:n kosteustekninen toimivuustarkastelu /3/. Rakennuksen sisäpinnassa on kipsilevy, jonka takana on ristikoolaus ja höyrynsulku. Ristikoolauksessa on voitu tehdä sähköasennukset höyrynsulkua rikkomatta. Rakenteen höyrynsulkuna on polyamidinen muovikalvo, jonka diffuusiovastus muuttuu ilman kosteuspiitoisuuden mukaan siten, että rakenteessa mahdollisesti oleva kosteus pääsee tarvittaessa kuivumaan myös sisäänpäin. Tämä antaa varmuutta myös mahdollista ke-säkondenssia silmällä pitäen. Höyrynsulun ulkopuolella on 223 mm puurunko ja välissä

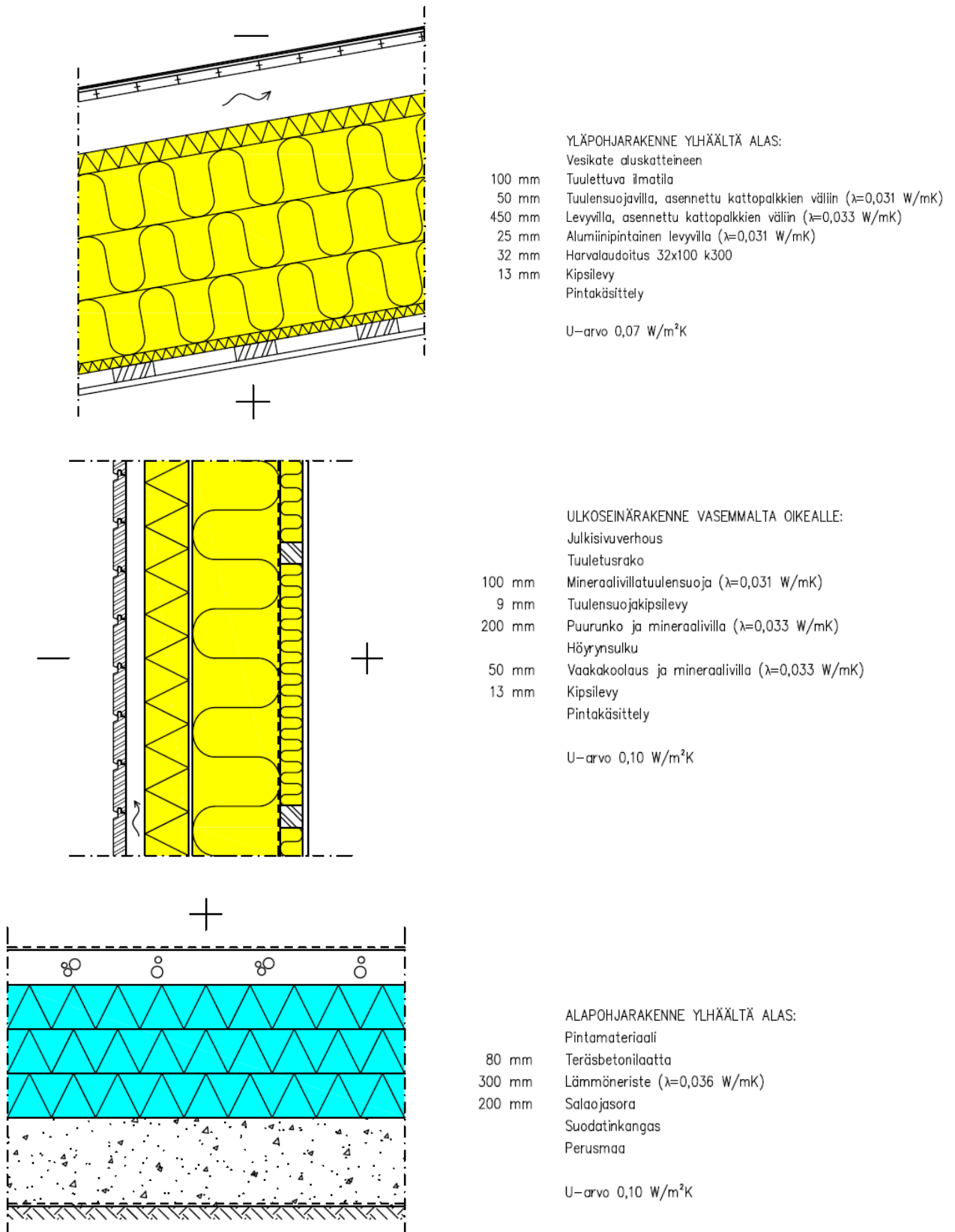
mineraalivillalämmöneriste. Puurunko on jäykistetty ulkopuolelta 9 mm tuulensuojakipsilevyllä. Puurungon ulkopuolella on 80 mm paksu yhtenäinen tuulensuojalämmöneriste, joka katkaisee puurunkojen sekä liitoskohtien aiheuttamat kylmäsillat. Yhtenäinen eriste parantaa myös rakenteen kosteusteknistä toimivuutta merkittävästi, koska puurunko on tämän seurauksena lämpimämmässä ja sitä kautta kuivemmassa tilassa.

Yläpohjarakenteen sisäpinnassa on 25 mm alumiinipintainen mineraalivillalevy, jonka ulkopuolella on mineraalivillaeristettä vaakasuorassa rakenteessa 500 mm ja vinossa rakenteessa 450 mm. Vinon rakenteen yläpinnassa on lisäksi 50 mm paksu mineraalivillatuulensuojaeriste. Yläpohjarakenne on päätyräystäiltä tuulettuva.

Kohteen alapohjarakenne on kosteusteknisesti toimiva ja toimivuuden edellytykset ovat samat kuin yleensä maanvaraisissa alapohjarakenteissa.

2.4.8 Mallirakenteet

Kuvassa 1 esitetään mineraalivillateollisuuden kohteeseen 4 pohjautuvia mallirakenteita



2.5 Kohde 5 li

2.5.1 Yleistiedot

Kohde on Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseva 200 m² kaksikerroksinen omakotitalo, joka on valmistunut vuonna 2010. Rakennuksessa on elementtirakenteinen puurunko. Lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys, vesikiertotakka ja aurinkolämpökärräimet.

2.5.2 Sijainti tontilla

Rakennuksen kapea sivu on pohjois-etelä suuntaan. Suurin osa rakennuksen ikkunoista on suunnattu pohjoiseen.

2.5.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on maanvarainen alapohja. Salaojiin kallistetun perusmaan päällä on tiivistetty kapillaarinvuodon estävä sorakerros. Sorakerroksen päällä on lämmöneristyksenä 400 mm EPS-eristettä, jonka päälle on valettu 80 mm teräsbetoni-laatta. Rakennuksen routaeristyksenä on 100 mm EPS-eristettä, joka on ulotettu 2,0 metrin etäisyydelle sokkelista. Sokkelin sisäpinnassa on 100 mm EPS-eristettä. Alapohjan U-arvo on 0,09 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksessa on puurunkoinen ulkoseinä, joka on toteutettu puuelementeillä. Julkisivurappauksen alustana on 75 mm harkkomuuraus, jonka takana on 30 mm tuuletusväli. Rakennuksen 240 mm puurungon ulkopinnassa on tuulensuojana 60 mm pinnoitettu tuulensuojaeriste ja rungon välissä lämmöneristyksenä 240 mm mineraalivillaa. Höyrynsulku on sisäpuoleisen rungon sisäpinnassa. Höyrynsulun päällä on sisäverhouksena 13 mm kipsilevy. Ulkoseinän U-arvo on 0,12 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurunkoinen pulpettikatto, jonka katemateriaalina on peltikate. Katemateriaalin alla on käytetty kondenssisuojattua aluskatetta. Yläpohja on kannatettu kattotuoleilla, joiden välissä on 100 mm levyvillaa, jonka päällä on 600 mm puhallusvillaa. Kattoristikoiden alapinnassa kiittää yhtenäinen höyrinsulkumuovi, jonka saumat on teipattu ja tuettu. Höyrinsulun sisäpinnassa on koolaus sisäkaton verhoukselle. Yläpohjarakenteen U-arvo $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on matalaenergiaikkunat, joissa on huurtumaton nelinkertainen lasitus. Ikkunat ovat kaksipuitteisiä puualumiini-ikkunoita, jotka ovat U-arvoltaan $0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ulko-ovet ovat matalaenergiaovia, jotka ovat U-arvoltaan $0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.5.4 Talotekniikka

Rakennuksen lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys, jota lämmitetään aurinkolämpökeräimillä, vesikiertotakalla sekä tarvittaessa suoralla sähköllä. Rakennuksen koneellisen ilmanvaihdon yhteydessä on esilämmitys- ja esijäähdytysjärjestelmänä maaputkisto. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on $0,5 \text{ (1/h)}$. Rakennuksen laskennallinen sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään 21 °C ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan 25 °C .

2.5.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkasteluajanjakson 11/2011 - 6/2012 aikana asunnossa asui 2 aikuista ja 3 lasta.

 Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus

| | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 211,5 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 610 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,40 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 75,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 33 300 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | - | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 119 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 137 | kWh/(m ² a) |

2.5.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi asukkaiden tyytyväisyys asunnonlämpömukavuuteen talvisin ja kesäisin. Heillä on hyvä mahdollisuus säätää lämmitysjärjestelmästä asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma puhtaaksi ja raikkaaksi. Asukkailla on mahdollisuus säätää ilmastointijärjestelmäänsä ja kokevat asunnon hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja ne saavat sopivasti suoraa auringonvaloa kesäisin ja talvisin. Asunnossa ei ole tarvinnut suorittaa korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä rakennuksen valmistumisen jälkeen.

2.5.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

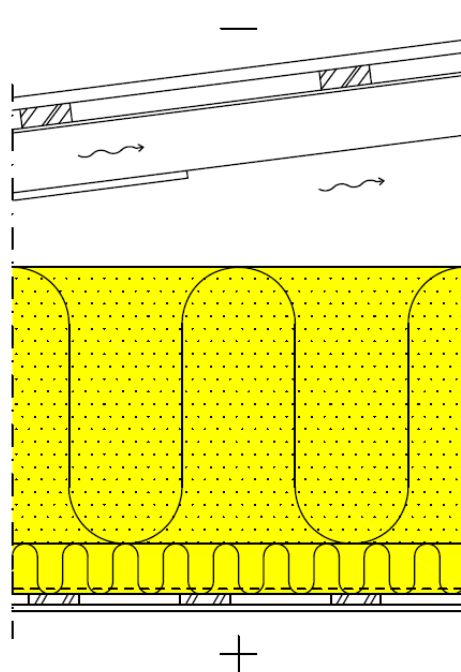
VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen ulkoseinärakenteen (US 12) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen.

VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen yläpohjarakenteen (YP 1) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen.

Kohteen alapohjarakenne on kosteusteknisesti toimiva ja toimivuuden edellytykset ovat samat kuin yleensä maanvaraisissa alapohjarakenteissa.

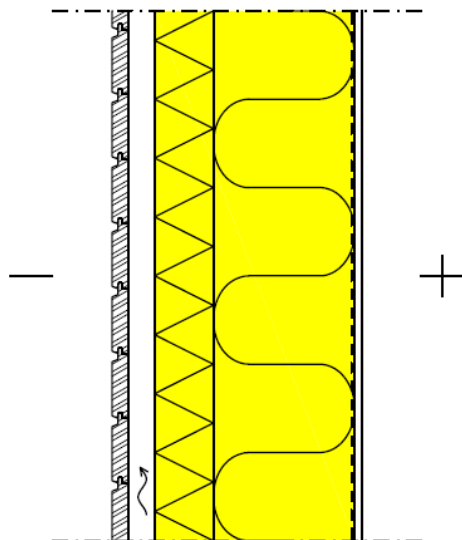
2.5.8 Mallirakenteet

Kuvassa 1 esitetään mineraalivillateollisuuden kohteeseen 5 pohjautuvia mallirakenteita



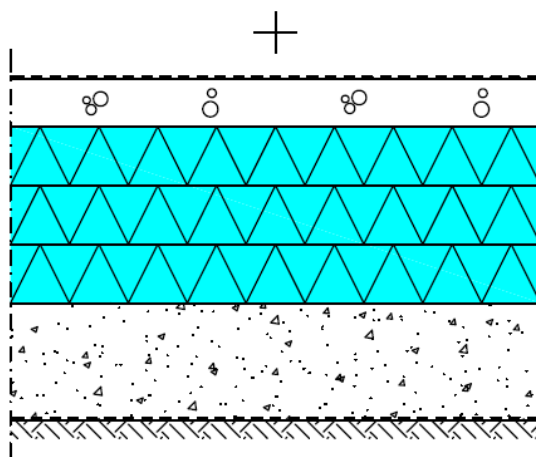
YLÄPOHJARAKENNE YLHÄÄLTÄ ALAS:

- Vesikate aluskatteineen
- Tuuletettava ilmatila
- 550 mm Puhallusvilla ($\lambda=0,041$ W/mK)
- 100 mm Levyvilla kattoristikoiden alapaarteiden välissä ($\lambda=0,033$ W/mK)
- Höyrynsulku
- 32 mm Harvalaudoitus 32x100 k300
- 13 mm Kipsilevy
- Pintakäsittely
- U-arvo $0,06$ W/m²K



ULKOSEINÄRAKENNE VASEMMALTA OIKEALLE:

- Julkisivuverhous
- Tuuletusrako
- 100 mm Mineraalivillatuulensuoja ($\lambda=0,031$ W/mK)
- 240 mm Puurunko ja mineraalivilla ($\lambda=0,033$ W/mK)
- Höyrynsulku
- 13 mm Kipsilevy
- Pintakäsittely
- U-arvo $0,10$ W/m²K



ALAPOHJARAKENNE YLHÄÄLTÄ ALAS:

- Pintamateriaali
- 80 mm Teräsbetoni-laatta
- 300 mm Lämmöneriste ($\lambda=0,036$ W/mK)
- 200 mm Salaojasora
- Suodatinkangas
- Perusmaa
- U-arvo $0,10$ W/m²K

3 Puukuituteollisuuden kohteita

3.1 Kohde 6 Oulu

3.1.1 Yleistiedot

Kohde on Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseva 155 m² kaksikerroksinen omakotitalo. Rakennus on puurunkoinen ja se on valmistunut vuonna 2008. Lämmitysjärjestelmänä on ilmanvaihtolämmitys ja vesikiertotakka sekä aurinkolämpökeräimet.

3.1.2 Sijainti tontilla

Rakennuksen pääjulkisivu on suunnattu suoraan etelään. Aurinkosuojauksena toimii osalle tonttia jätetty puusto sekä ikkunalasien välissä olevat kaihtimet.

3.1.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on tuuletettu alapohja, joka on kannatettu 400 mm korkeilla puisilla ristikkopalkkeilla. Palkkien alapinnassa kiertää tuulensuojakangas. Ristikkopalkkien välissä on lämmöneristysenä 400 mm puukuitueristettä. Ristikko palkkien päällä on 23 mm raakaponttilaudoitus, jonka päällä on valettu 80 mm teräsbetonilaatta. Alapohjan U-arvo on 0,10 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksessa on puurunkoinen ulkoseinä, joka koostuu 42x360 mm ristikkopalkkirakenteesta. Ulkoverhouspaneelin takana on tuulensuojakangas, joka on kiinnitettyinä rakennuksen pystyrunkoon. Pystyrunkojen välit on lämmöneristetty käyttäen 360 mm puhallettavaa puukuitueristettä. Sisäpuolen rungon päällä on 28 mm vaakakoolaus, jonka välissä on lämmöneristeenä 28 mm puukuitueristettä. Koolauksen sisäpinnassa

on höyrynsulkumuovi, jonka päällä on sisäverhouksena 13 mm kipsilevy. Ulkoseinän U-arvo on 0,10 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurunkoinen harjakatto, jonka katemateriaalina on konesaumapeltikate. Katemateriaalin alla on käytetty 23 mm raakaponttilaudoitusta. Yläpohja on kannatettu kattokannattajilla, joiden välissä on lämmöneristyksenä 600 mm puukuitueristettä. Kattoristikoiden alapinnassa kiittää yhtenäinen höyrynsulkumuovi, jonka sisäpinnassa on 28 mm koolaus sisäkaton verhoukselle. Yläpohjarakenteen U-arvo 0,08 W/m²K.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksen ikkunat ovat matalaenergiaikkunoita, joista kaikki ovat kiinteitä kaksipuitteisiä ikkunoita. Ikkunat ovat U-arvoltaan 0,60 W/m²K. Ulko-ovien U-arvo on 0,70 W/m²K.

3.1.4 Talotekniikka

Lämmitysjärjestelmänä on ilmanvaihtolaitteeseen yhdistetty poistoilmalämpöpumppu ja vesikiertotakka sekä aurinkolämpökeräimet. Jäähdytysjärjestelmänä on ilmanvaihtolaitteeseen kytketty maakylmäputkisto. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on 0,5 (1/h). Rakennuksen laskennallinen sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään 21 °C ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan 25 °C.

3.1.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkasteluajanjakson 12/2008 - 12/2009 aikana rakennuksessa asui 2 aikuista ja 2 lasta.

 Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus

| | | |
|---|-------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 164,2 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 452,0 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,28 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 76,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 4 853 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | 8 485 | kWh/a |
| Lämmitys | 700 | kWh/a |
| Polttoaine (sekapuu) | 2 800 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 75 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 107 | kWh/(m ² a) |

3.1.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi asukkaiden tyytyväisyys asunnonlämpömukavuuteen talvisin ja kesäisin. Heillä on hyvä mahdollisuus säätää lämmitysjärjestelmästä asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Kesäisin yläkerrassa sijaitsevien makuuhuoneiden lämpötilat koettiin lämpimäksi. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma puhtaaksi ja raikkaaksi. Asukkailla on mahdollisuus säätää ilmastointijärjestelmäänsä ja kokevat asunnon hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja ne saavat sopivasti suoraa auringonvaloa kesäisin ja talvisin. Asunnossa ei ole tarvinnut suorittaa korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä rakennuksen valmistumisen jälkeen.

3.1.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

Kohteessa on suoritettu jatkuva seurantamittaus 23.11.2009 – 11.5.2012. Kohteen US ja YP rakenteiden seurantamittaukset on analysoitu Oulun ammattikorkeakoulun toimesta. Kaikissa ulkoseinä- ja yläpohjarakenteissa olevissa pisteistä määritetyt kosteustasot osoittavat rakenteen toimivan turvallisesti.

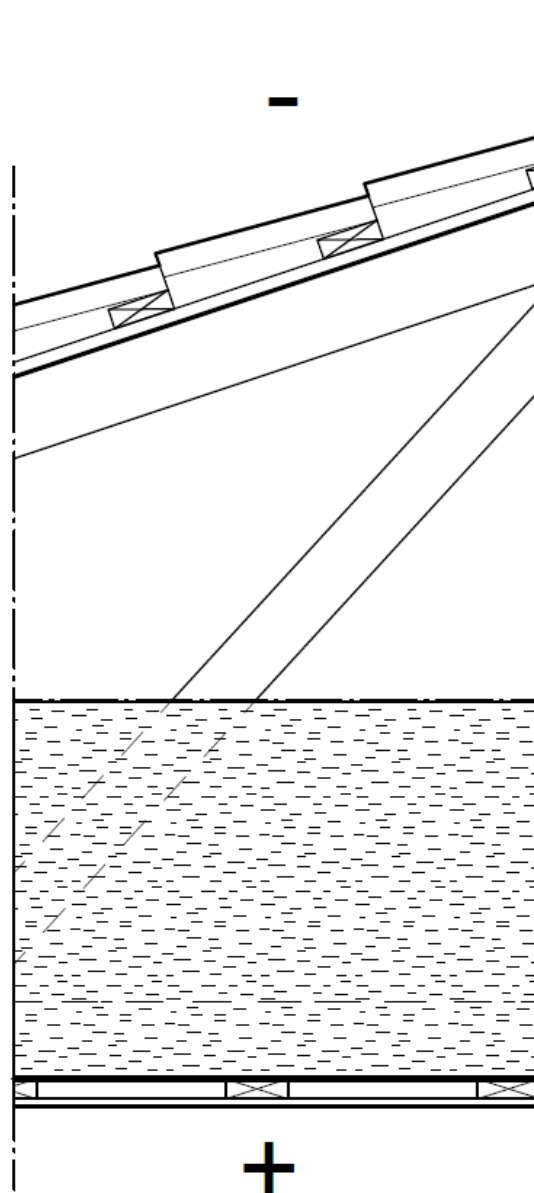
VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen alapohjarakenteen (AP 13) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen. Sisäilman kosteus ei pääse siirtymään rakenteeseen niin, että se vaikuttaisi rakenteen kosteustasoihin. Rakenteen riskit ovat samoja kuin millä tahansa ryömintätilan rakenteella. Suurimpia riskejä ovat maaperästä tuleva liika kosteus, mikä voi johtua puutteellisesta kapillaarikatkosta tai salaojituksen toiminnan puutteista. Samoin puutteellinen ilmanvaihto voi johtaa liian korkeisiin kosteuksiin rakenteen ryömintätilassa. Nämä riskit eivät liity suoraan alapohjan rakenneleikkaukseen, vaan koko alapohjan ratkaisuun. Alapohjasta seurantamittauksissa määritetyt kosteustasot osoittavat rakenteen turvallisesti toimivaksi myös näiltä osin.

3.1.8 Mallirakenteet

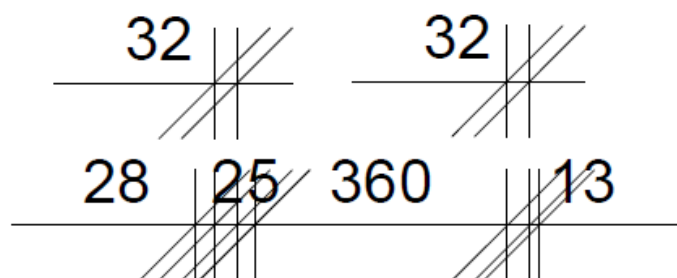
Kuvassa 1 esitetään puukuituteollisuuden kohteeseen 6 pohjautuva yläpohjan mallirakenne

VESIKATTO U-arvo 0,07 W/m²K

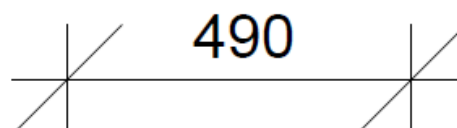
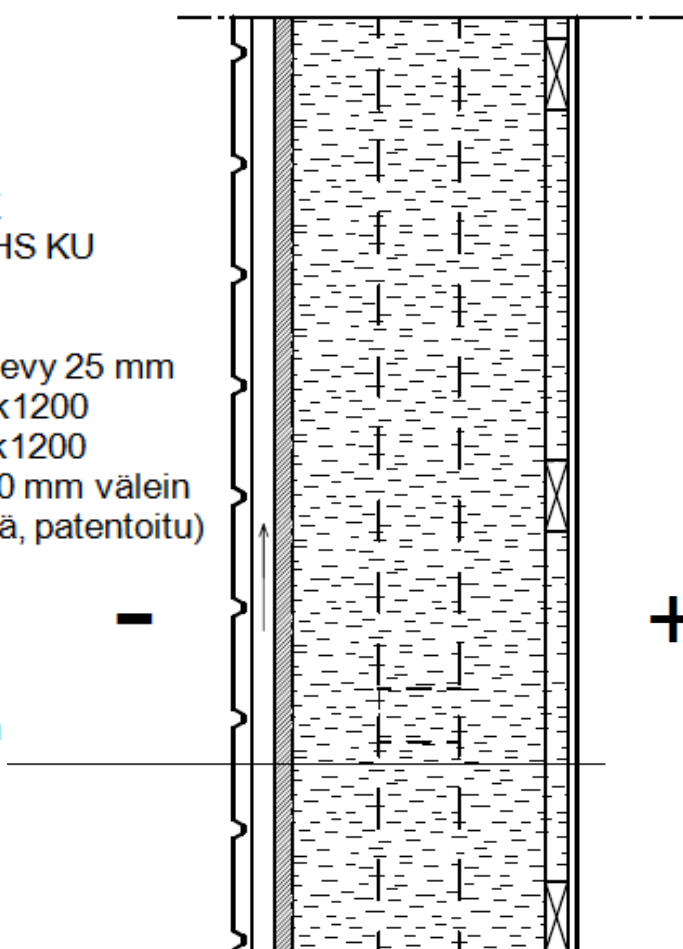
- Tiilikuvioitu peltikate
- Ruode 32x100 k350
- Tuuletusrima 20x48
- Kond.suojattu aluskate
- Kattokannattajat k1200 max.
- Tuulettuva ullakkotila
- Puukuitueriste 600 mm
- Ilmansulkupaperi
- Ruoteet 32x100 k400
- Sisäverhous



Kuvassa 2 esitetään puukuituteollisuuden kohteeseen 6 pohjautuva ulkoseinän mallirakenne



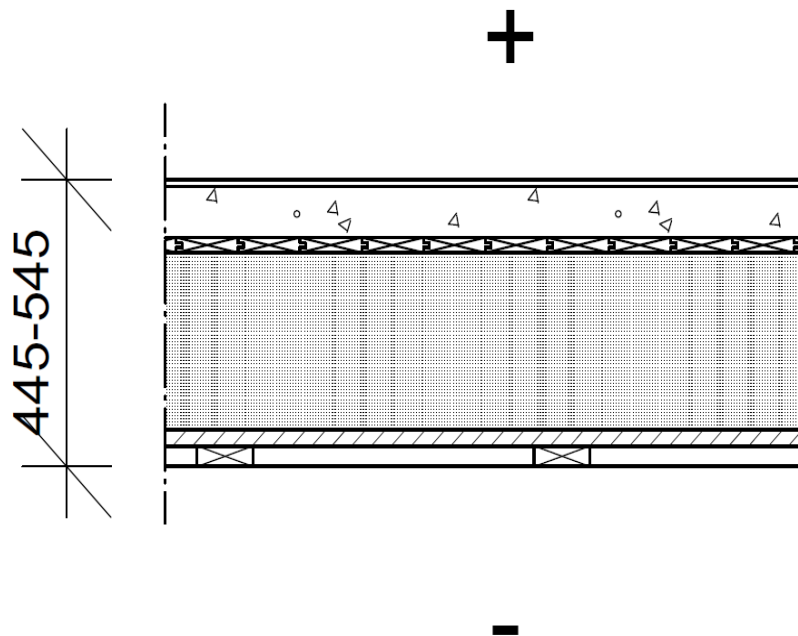
- ULKOSEINÄ U-arvo 0.10 W/m²K
- Ulkoverhouslauta 28x145 UTV HS KU
 - Pystykoolaus 32x100 k600 (tuuletusrako 32 mm)
 - Huokoinen puukuitutuulensuojalevy 25 mm
 - Ulkopuolen pystyrunko 42x123 k1200
 - Sisäpuolen pystyrunko 42x123 k1200 (Rungot kiinnitetty toisiinsa n. 1500 mm välein 42x73 puukapulalla + naulalevyillä, patentoitu)
 - + Puukuitueriste 360mm
 - Vaakakoolaus 32x100 k600
 - + Puukuitueriste 32mm
 - Ilmansulkupaperi
 - Sisäverhouskipsilevy EK 13 mm



Kuvassa 3 esitetään puukuituteollisuuden kohteeseen 6 pohjautuva alapohjan mallirakenne

ROSSIPOHJALATTIA U-arvo 0,10 W/m²K (1)

- Lattiapinnoite
- Teräsbetoni-laatta 80 mm
- Ponttilaudoitus 23 mm
- Kantava palkisto KP 45x300-400 k1200 max.
- + Puukuitueriste 275-375 mm
- Huokoinen puukuitutuulensuojalevy 25 mm
- Koolaus 28x98 mm painekyllästetty k600
- + koolausten väliin kapulat (levyn saumojen kannatus)



(1)

275 mm eristevahvuudella, alapohjan lämpöhäviö kerrottu luvulla 0,8 rakentamismääräykokoelman osan D3 mukaisesti.

Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila, kun ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

375 mm eristevahvuudella ryömintätila on vapaasti tuuletettava. (pilariperustus)

3.2 Kohde 7 Oulunsalo

3.2.1 Yleistiedot

Kohde on Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseva 142 m² kaksikerroksinen omakotitalo. Rakennus on puurunkoinen ja se on valmistunut vuonna 2005. Lämmitysjärjestelmänä on suoralla sähköllä toimiva ilmanvaihtolämmitys.

3.2.2 Sijainti tontilla

Suurin osa rakennuksen ikkunoista sijaitsee etelään suunnatussa julkisivussa.

3.2.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on tuuletettu alapohja, joka on kannatettu 500 mm korkeilla puisilla ristikkopalkkeilla. Palkkien alapinnassa on 25 mm puukuitulevy. Ristikkopalkkien välissä on lämmöneristyksenä 500 mm puukuitueristettä. Ristikko palkkien päällä on koolaus 50x100 puutavarasta. Koolauksen päällä kiertyä ilmansulkupaperi, jonka päällä on kaksi 15 mm lattia kipsilevyä. Alapohjan U-arvo on 0,08 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksessa on puurunkoinen ulkoseinä, jonka ulkoverhousmateriaaleina ovat kuusipaneeli ja kuitusementtilevy. Ulkoverhouksen takana on 22 mm ristikoolaus, joka toimii rakenteen tuuletusrakona. Koolauksen takana on tuulensuojana 25 mm huokoinen puukuitutuulensuojalevy. Ulkoseinän kantava runko koostuu 42x400 ristikkopalkkirakenteesta, joiden väleissä on lämmöneristeenä 400 mm puukuitueristettä. Rungon sisäpinnassa on kaksinkertainen kerros ilmansulkupaperia, jonka päällä on sisäverhouksena 13 mm kipsilevy. Ulkoseinän U-arvo on 0,10 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurunkoinen harjakatto, jonka katemateriaalina on konesaumakate. Yläpohjarakenne on vino katto, joka on kannatettu kattokannattajilla. Kattokannattajien välissä on 500 mm puukuitueristettä, jonka päällä 25 mm puukuitutuulensuojalevy. Kattokannattajien alapinnassa kiittää yhtenäinen ilmansulkupaperi, jonka päällä tinapaperi. Paperikerrosten päällä on 50 mm koolaus sisäkaton verhoukselle. Yläpohjarakenteen U-arvo on 0,08 W/m²K.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksen ikkunat ovat U-arvoltaan 0,60 W/m²K. Ulko-ovien U-arvo on 0,80 W/m²K.

3.2.4 Talotekniikka

Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on ilmanvaihtolaitteeseen yhdistetty sähkölämmitys. Jäähdytysjärjestelmänä on ilmanvaihtolaitteeseen kytketty maakyilmäputkisto. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on 0,5 (1/h) ja tehostettu ilmanvaihto 1,0 (1/h). Rakennuksen sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään 21 °C ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan 25 °C.

3.2.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkastelujakson 2/2007 – 2/2008 aikana rakennuksessa asui 2 aikuista ja lapsi. Omakotitalo käyttää lämmitykseen pääasiassa sähköenergiaa. Tämä aiheuttaa uuden RakMK D3 2012 mukaisen laskennallisen E-luvun nousun korkeaksi

| Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 141,6 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 395,0 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,19 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 75,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | - | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | 15 094 | kWh/a |
| Lämmitys | 5 538 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | - | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 171 | kWh/(m ² a) |

3.2.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi asukkaiden tyytyväisyys asunnonlämpömukavuuteen talvisin ja kesäisin. Heillä on hyvä mahdollisuus säätää lämmitysjärjestelmästä asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma puhtaaksi ja raikkaaksi. Asukkailla on mahdollisuus säätää ilmastointijärjestelmänsä ja kokevat asunnon hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja ne saavat sopivasti suoraa auringonvaloa talvisin, mutta kesäisin hieman liikaa. Asunnossa ei ole tarvinnut suorittaa korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä rakennuksen valmistumisen jälkeen.

3.2.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

Rakenne samankaltainen kuin kohteessa 7, jossa on suoritettu seurantamittaukset 2009 - 2012. Kohteen ulkoseinä- ja yläpohjarakenteen kosteustekninen toimivuus on mittaustulosten perusteella turvallinen.

VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen alapohjarakenteen (AP 13) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen. Sisäilman kosteus ei pääse siirtymään rakenteeseen niin, että se vaikuttaisi rakenteen kosteustasoihin. Rakenteen riskit ovat samoja kuin millä tahansa ryömintätilan rakenteella. Suu-

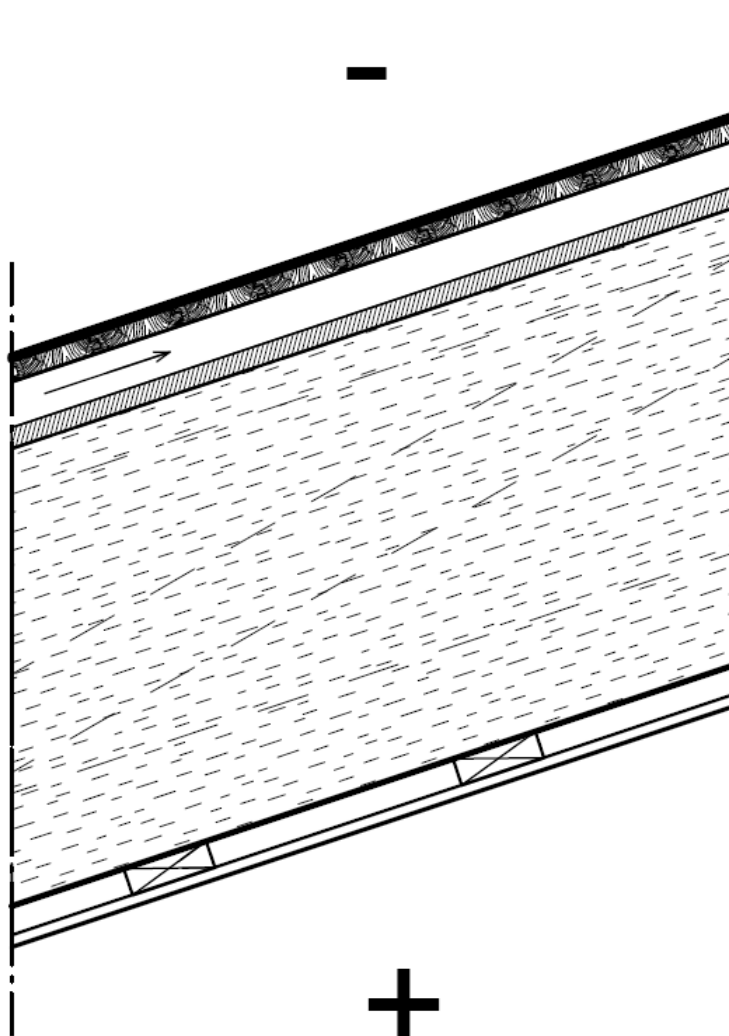
rimpia riskejä ovat maaperästä tuleva liika kosteus, mikä voi johtua puutteellisesta kappilaarikatkosta tai salaojituksen toiminnan puutteista. Samoin puutteellinen ilmanvaihto voi johtaa liian korkeisiin kosteuksiin rakenteen ryömintätilassa. Nämä riskit eivät liity suoraan alapohjan rakenneleikkaukseen, vaan koko alapohjan ratkaisuun. Alapohjasta seurantamittauksissa määritetyt kosteustasot osoittavat rakenteen turvallisesti toimivaksi myös näiltä osin.

3.2.8 Mallirakenteet

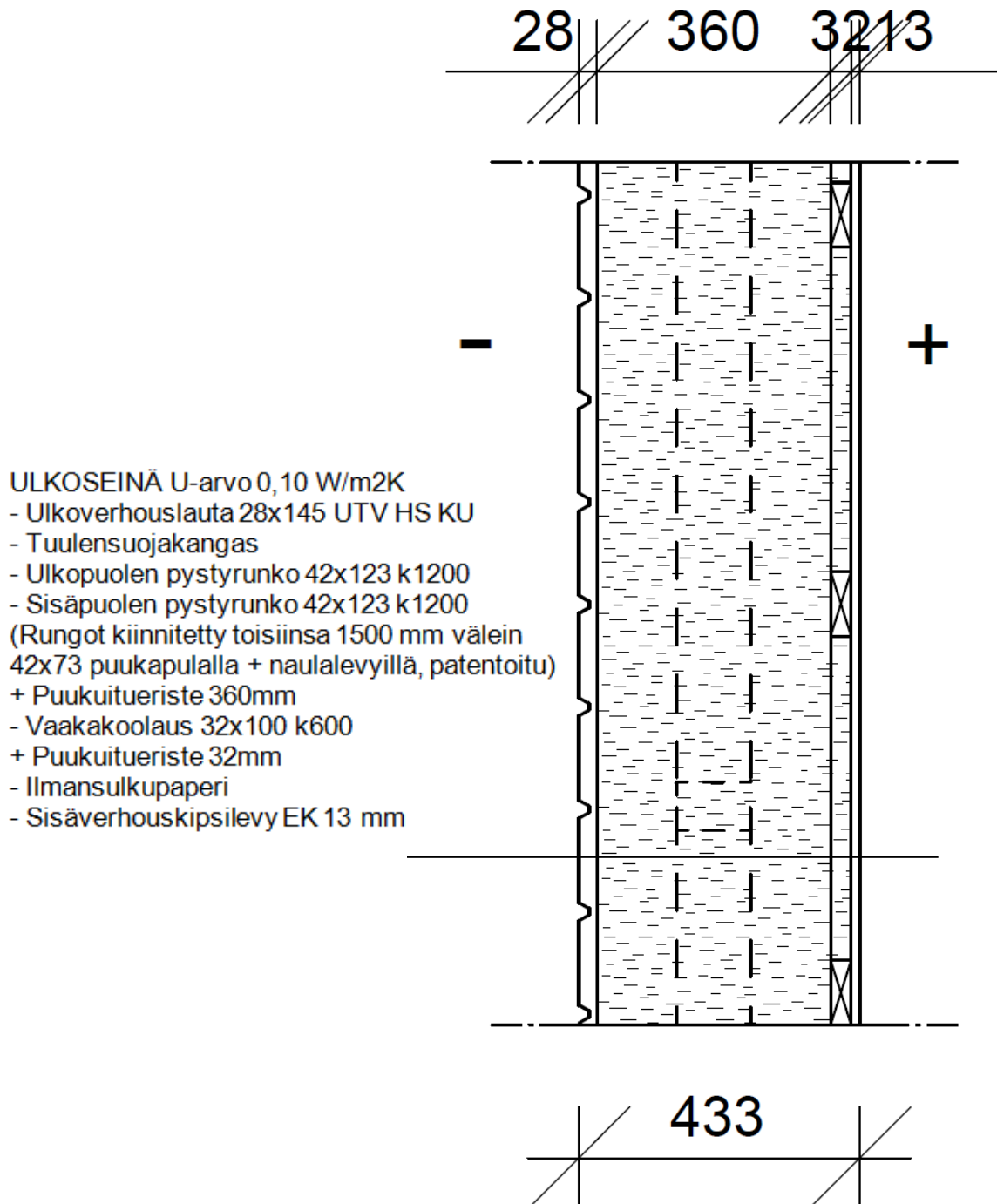
Kuvassa 1 esitetään puukuituteollisuuden kohteeseen 7 pohjautuva yläpohjan mallirakenne

VESIKATTO VO U-arvo 0,08 W/m²K

- Konesauma- tai huopakate
- Aluskatehuopa
- Ponttilaudoitus 23 mm
- Tuuletusväli 50 mm
- Huokoinen puukuitutuulensuojalevy 25 mm
- Kattokannattajat k1200 max.
- Puukuitueriste 500 mm
- Ilmansulkupaperi
- Ruoteet 32x100 k400
- Sisäverhous



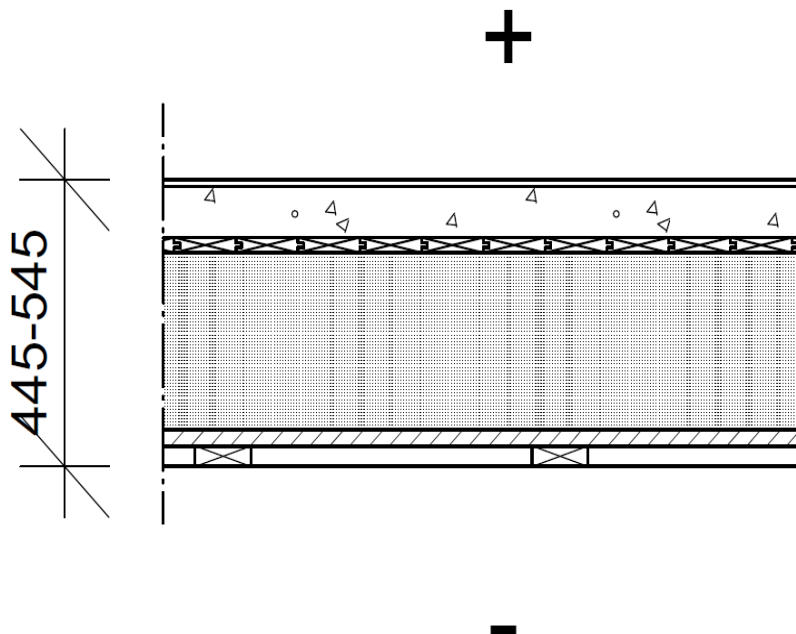
Kuvassa 2 esitetään puukuituteollisuuden kohteeseen 7 pohjautuva ulkoseinän mallirakenne



Kuvassa 3 esitetään puukuituteollisuuden kohteeseen 7 pohjautuva alapohjan mallirakenne

ROSSIPOHJALATTIA U-arvo 0,10 W/m²K (1)

- Lattiapinnoite
- Teräsbetoni-laatta 80 mm
- Ponttilaudoitus 23 mm
- Kantava palkisto KP 45x300-400 k1200 max.
- + Puukuitueriste 275-375 mm
- Huokoinen puukuitutuulensuojalevy 25 mm
- Koolaus 28x98 mm painekyllästetty k600
- + koolausten väliin kapulat (levyn saumojen kannatus)



(1)

275 mm eristevahvuudella, alapohjan lämpöhäviö kerrottu luvulla 0,8 rakentamismääräykokoelman osan D3 mukaisesti.

Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila, kun ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

375 mm eristevahvuudella ryömintätila on vapaasti tuuletettava. (pilariperustus)

4 PU-teollisuuden kohteita

4.1 Kohde 8 Kokkola

4.1.1 Yleistiedot

Kohde on Keski-Pohjanmaalla sijaitseva 170 m² kaksikerroksinen omakotitalo, joka on valmistunut vuonna 2011. Rakennus on puurunkoinen ja sen lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys.

4.1.2 Sijainti tontilla

Rakennus sijaitsee aukealla paikalla ja sen julkisivu on suunnattu suoraan etelään. Aurinkosuojauksena ovat ikkunalasien välissä olevat kaihtimet.

4.1.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on tuuletettu alapohja, joka on kannatettu 200 - 265 mm teräsbetoniontelolaatoilla. Ontelolaatan pinnalla on lämmöneristyksenä 150 mm EPS-eristettä ja 100 mm IR-EPS-eristettä, jonka päälle on valettu 80 mm teräsbetoni-laatta. Alapohjan U-arvo on 0,12 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksessa on puurunkoinen ulkoseinä, jonka ulkoverhouksena on lomalaudoitus. mm. Lomalaudoituksen takana on 48 mm vaakakoolaus, joka toimii yhdessä lomalaudoituksen kanssa rakenteen tuuletusrakona. Vaakakoolauksen takana on tuulensuojana 9 mm tuulensuojakipsilevy, joka on kiinni rakennuksen kantavassa pystyrungossa. Pystyrungon välissä on lämmöneristyksenä 200 mm mineraalivillaa ja rungon

sisäpinnassa 90 mm PU-eriste. Lämmöneristyksen sisäpinnassa on koolaus sisäverhoukselle. Ulkoseinän U-arvo on 0,10 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurunkoinen harjakatto, jonka katemateriaalina on teräksinen vesikattolevy. Yläpohja on kannatettu kattoristikoin, joiden alapintaan on kiinnitetty lämmöneristykseksi 30 mm PU-eristettä. Kattoristikoiden välissä on lämmöneristyksenä 470 mm puhallusvillaa. Alapinnassa oleva eristelevy toimii yläpohjan höyrynsulkuna ja sen pinnalla on ristikoolaus sisäkaton verhoukselle. Yläpohjarakenteen U-arvo 0,07 W/m²K.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on matalaenergiaikkunat, joissa on nelinkertainen selektiivilasitus. Ikkunat ovat avattavia kaksipuitteisia puualumiini-ikkunoita, joiden molemmissa puitteisissa on argon täytteinen eristyslaselementti. Ikkunat ovat U-arvoltaan 0,75 W/m²K. Ulko-ovien U-arvo on 0,70 W/m²K.

4.1.4 Talotekniikka

Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on kaukolämmöllä lämmitettävä vesikiertoinen lattialämmitys. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on 0,5 (1/h). Rakennuksen sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään 21 °C ja lämmityskauden ulkopuolella maximissaan 25 °C.

4.1.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkasteluajanjakson 9/2011 – 5/2012 aikana rakennuksessa asui 3 aikuista ja 6 lasta.

| Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 170,0 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 400,0 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,45 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 74,8 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 24 062 | kWh/a |
| Lämmitys | 12 014 | kWh/a |
| Jäähdytys | 2 398 | kWh/a |
| Laitteet | 9 650 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus 9/2011 – 5/2012 | 14 650 | kWh |
| Lämmitys | 9 062 | kWh |
| Laitteet | 5 589 | kWh |
| Laskennallinen ET-luku | 125 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 110 | kWh/(m ² a) |

4.1.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi asukkaiden tyytyväisyys asunnonlämpömuokavuuteen talvisin ja kesäisin. Heillä on hyvä mahdollisuus säätää lämmitysjärjestelmästä asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Kesäisin etelän puolella sijaitseva olohuone koettiin lämpimäksi, joka johtuu ikkunoiden puutteellisesta aurinkosuojauksesta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma raikkaaksi ja melko puhtaaksi. Asukkailla on mahdollisuus säätää ilmastointijärjestelmäänsä ja sitä on säädetty suunnitteluarvoja nopeammaksi asukkaiden suuresta määrästä johtuen. Asunto koetaan hiljaiseksi, mutta seinien sisäpuolen rakenneratkaisun koetaan vahvistavan asunnossa tapahtuvien äänien kulkeutumista. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja ne saavat sopivasti suoraa auringonvaloa talvisin, mutta kesäisin hieman liikaa. Asuntoon syntyy ruuanlaitosta hajuja johtuen liesituulettimen aiheuttamasta alipaineesta, joka ottaa korvausilmaa takan hormista. Talvisin yläkerran ikkunoiden pintaan on tiivistynyt kosteutta. Asunnossa on vaihdettu yläkerran sisäpuolen ikkunasalvat sekä säädetty ilmanvaihtokonetta. Muita korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä ei ole tarvinnut suorittaa rakennuksen valmistumisen jälkeen.

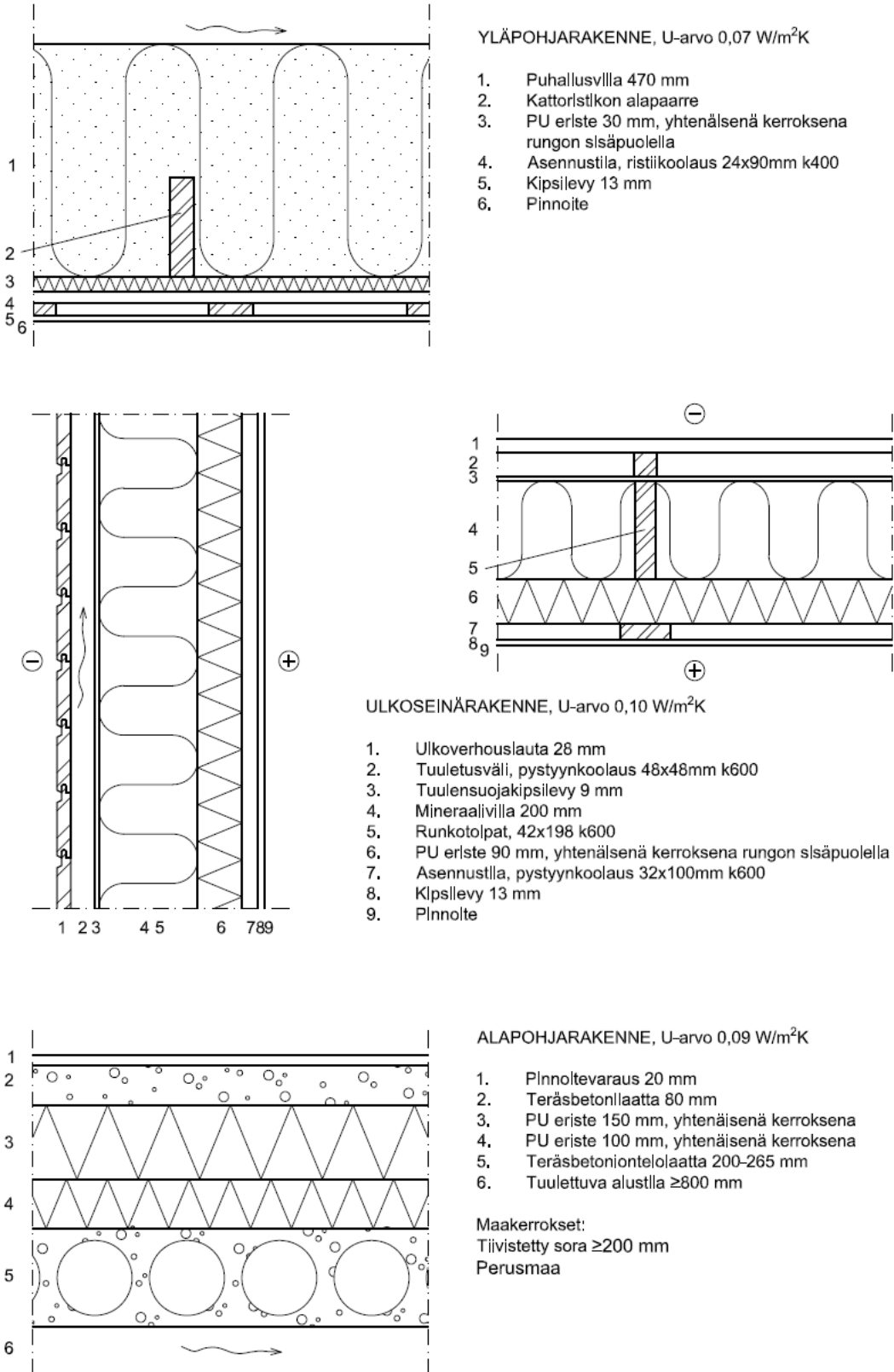
4.1.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen ulkoseinärakenteen (US5) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen.

VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen yläpohjarakenteen (YP5) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen.

4.1.8 Mallirakenteet

Kuvassa 1 esitetään PU-teollisuuden kohteeseen 8 pohjautuvia mallirakenteita



4.2 Kohde 9 Mäntyharju

4.2.1 Yleistiedot

Kohde on Etelä-Savossa sijaitseva 141 m² yksikerroksinen omakotitalo, joka on valmistunut vuonna 2010. Rakennus on betonielementtirakenteinen ja sen lämmitysjärjestelmänä vesikiertoinen lattialämmitys.

4.2.2 Sijainti tontilla

Rakennuksen pääjulkisivu on suunnattu suoraan lounaaseen ja koko lounaan seinustaa suojaa terassin katto. Tämä vähentää kesäisin auringonpaisteen aiheuttamaa sisätilojen lämpökuormaa, mutta talvisin pystytään hyödyntämään matalalta tulevan auringonpaisteen tuottama lämpö, joka paistaa sisään rakennuksen ikkunoista.

4.2.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on maanvarainen alapohja. Alapohjassa perusmaan päällä on tiivistetty kapillaarinousun estävä sorakerros. Sorakerroksen päällä on lämmöneristyksenä 250 mm PU-eristettä, jonka päälle on valettu 80 mm teräsbetonilaatta. Rakennuksen sokkeli on betonisandwich-sokkelielementeistä. Alapohjan U-arvo on 0,09 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksen ulkoseinät ovat betonisandwich-elementeistä, joissa 80 mm teräsbetoni-ulkokuoren takana on lämmöneristyksenä 250 mm PU-eristettä. Kantavan teräsbetoni-sisäkuoren paksuus on 120 mm. Ulkoseinän U-arvo on 0,10 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurakenteinen harjakatto, jonka katemateriaalina on betonikattotili. Yläpohjarakenne on vinokatto, joka on puurakenteisista passiivikattoelementeistä. Elementeissä on lämmöneristyksenä 320 mm PU-eristettä, jonka ylä- ja alapinnassa on 27 mm vanerilevy. Eristelevy toimii yläpohjan höyrynsulkuna. Vanerilevyjen pinnassa on koolaus sisäkaton verhoukselle ja vesikatteelle. Yläpohjarakenteen U-arvo on 0,07 W/m²K.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on matalaenergiaikkunat, jotka ovat avattavia kaksipuitteisia ja nelilasiisia. Ikkunat ovat U-arvoltaan 0,76 W/m²K ja kohtisuoralta g-arvoltaan 0,55. Ulko-ovet ovat matalaenergiarakenteisia, joiden U-arvo on 0,66 W/m²K.

4.2.4 Talotekniikka

Lämmitysjärjestelmänä on maalämpöpumpulla lämmitettävä vesikiertoinen lattialämmitys ja varaava takka. Rakennuksen koneellisen ilmanvaihdon yhteydessä on esilämmitys- ja esijäähdytysjärjestelmänä maaputkisto. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on 0,5 (1/h). Rakennuksen mitattu sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään 21 °C ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan 24 °C.

4.2.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkasteluajanjakson 12/2010 – 12/2011 aikana rakennuksessa asui 1 aikuinen.

| Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 145,0 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 445,0 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,09 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 80,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 19 335 | kWh/a |
| Lämmitys | 11 015 | kWh/a |
| Laitteet | 8 320 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | - | kWh/a |
| Lämmitys | 4 990 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 117 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 104 | kWh/(m ² a) |

4.2.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaalle tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi, että asukas on tyytyväinen asunnonlämpömukavuuteen kesäisin ja talvisin. Asukkaalla on hyvä mahdollisuus säätää asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma puhtaaksi ja raikkaaksi, mutta talvisin sisäilma melko kuivaksi. Sisäilman kuivuus talvisin johtuu ilmastointilaitteen sisään tuomasta kuivasta ulkoilmasta. Asukas voi hyvin säätää ilmastointijärjestelmäänsä ja kokee asunnon erittäin hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja ne saavat sopivasti suoraa auringonvaloa kesäisin ja talvisin. Asunnossa ei ole tarvinnut suorittaa korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä sen valmistumisen jälkeen.

4.2.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

Rakennuksen ulkoseinärakenteelle on tehty erillinen VTT:n kosteustekninen toimivuus-tarkastelu /4/. Mallinnettu rakenne on BSW elementti, sisäkuori 120 mm + PU -eristys 150 mm (diffuusiotiiviit pinnoitteet) + ulkokuori 70 mm. Johtopäätöksenä voitiin todeta, että rakenteen kosteustekninen toiminta on turvallista Suomen ilmastossa ja asuinkäyttöön tarkoitettussa sisäilman kuormitusoloissa. Vastaavan tapainen mallinnus tehty passiivitaso US-rakenteelle, jossa betoniulkokuoren sijasta on rappaus tai vastaava ohuempi pinnoite /5/, /6/. Johtopäätöksenä myös tässä todettiin, että rakenteen kos-

teustekninen toiminta on turvallista Suomen ilmastossa ja asuinkäyttöön tarkoitettussa sisäilman kuormitusoloissa.

Rakennuksen yläpohjarakenteelle on tehty erillinen VTT:n kosteustekninen toimivuus-tarkastelu /8/. Rakenne ei ole kantavien rakenteiden osalta aivan täysin samanlainen kuin kohteessa käytetty passiivikattoelementti, mutta kosteusteknisen tarkastelun kannalta sillä ei ole merkitystä. Kantavat rakenteet ovat puuta ja ne ovat kokonaisuudessa eristekerroksen alapuolella (lämpimällä puolella) ja eristekerros (320 mm) on yhtenäisenä kerroksena niiden päällä. Johtopäätöksenä voitiin todeta, että rakenteen kosteustekninen toiminta on turvallista Suomen ilmastossa ja asuinkäyttöön tarkoitettussa sisäilman kuormitusoloissa.

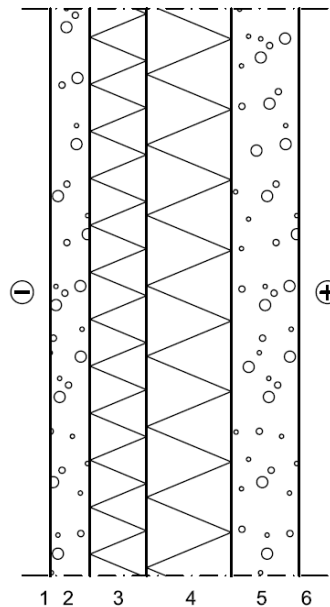
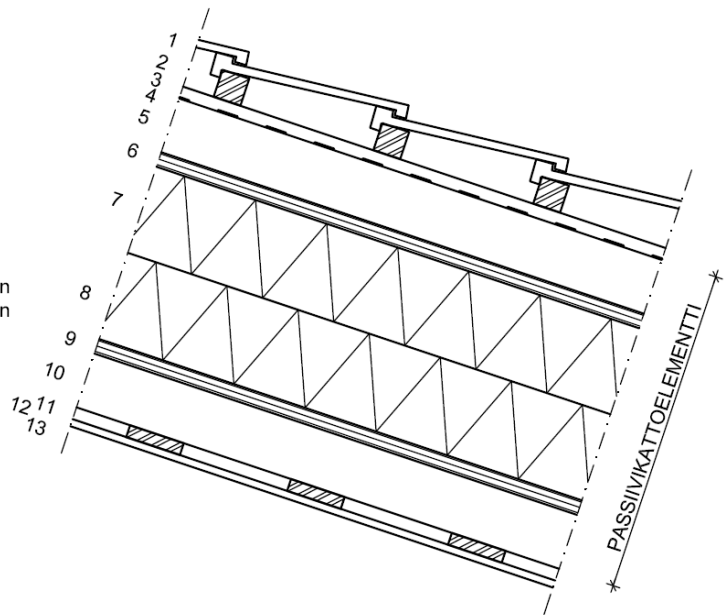
Rakennuksen alapohjarakenteelle on tehty erillinen VTT:n kosteustekninen toimivuus-tarkastelu /7/. Rakenne ei ole aivan tarkalleen samanlainen kuin kohteessa käytetty, mutta kosteusteknisen tarkastelun kannalta sillä ei ole merkitystä. Tässä raportissa käytetty PU eristepaksuus oli 200 mm (diffuusiotiiviit eristeet). Rakenteen selväpiirteisyyden takia sitä ei ole analysoitu laskennallisesti vaan selvitys on tehty pelkästään asiantuntemukseen perustuen. Johtopäätöksenä oli että rakenne on kosteusteknisesti toimiva, ja toimivuuden edellytykset samat kuin yleensäkin maanvaraisissa ja höyrynsulullisissa alapohjarakenteissa.

4.2.8 Mallirakenteet

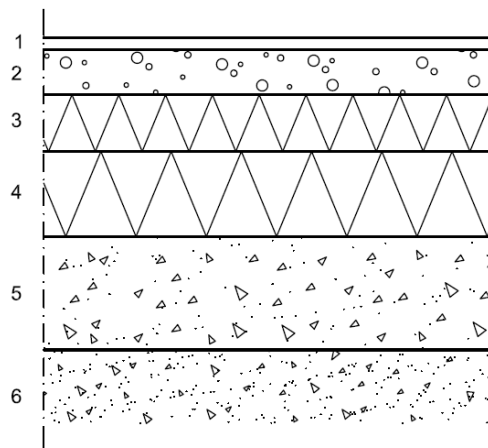
Kuvassa 1 esitetään PU-teollisuuden kohteeseen 10 pohjautuvia mallirakenteita

YLÄPOHJARAKENNE, U-arvo 0,07 W/m²K

1. Betonikattotiljet
2. Kattoruoteet 50x50mm k300-350
3. Rimat 22x50mm k600
4. Aluskate
5. Tuuletusväli, koolaus 51x100mm k600
6. Vaneeri 27 mm
7. PU eriste 160 mm, saumat vaahdotetaan
8. PU eriste 160 mm, saumat vaahdotetaan
9. Vaneeri 27 mm
10. Koolaus 51x100mm k400
11. Harvalauta, 22x100mm k300
12. Kipsilevy 13 mm
13. Pintakäsittely huoneselosteen mukaan

ULKOSEINÄRAKENNE, U-arvo 0,10 W/m²K

1. Valkobetonipinta
2. Teräsbetoni 70 mm
3. PU eriste 100 mm, saumat vaahdotetaan
4. PU eriste 150 mm, saumat vaahdotetaan
5. Teräsbetoni 120 mm
6. Pintakäsittely huoneselosteen mukaan

ALAPOHJARAKENNE, U-arvo 0,09 W/m²K

1. Pintakäsittely huoneselosteen mukaan
2. Teräsbetoni laatta 80 mm
3. PU eriste 100 mm, yhtenäisenä kerroksena
4. PU eriste 150 mm, yhtenäisenä kerroksena
5. Murske ≥ 200 mm (kapillaarikatko)
6. Soratäyttö

4.3 Kohde 11 Oulu

4.3.1 Yleistiedot

Kohde on Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseva 205 m² kaksikerroksinen omakotitalo, joka on valmistunut vuonna 2010. Rakennus on puurunkoinen ja sen lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys.

4.3.2 Sijainti tontilla

Rakennuksen ikkunat ovat pääosin suunnattu länteen ja ruokailutilan edessä on katettu terassi, joka suojaa auringonpaisteelta.

4.3.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on maanvarainen teräsbetonialapohja. Alapohjassa salaojiin kallistetun perusmaan päällä on tiivistetty kapillaarinousun estävä sorakerros, jonka pinnalla on täyttöhiekkakerros. Hiekkakerroksen päällä on lämmöneristyksenä 260 mm PU-eristettä, jonka päälle on valettu 80 mm teräsbetonilaatta. Routaeristyksenä on XPS-eristelevy, jota on sokkelista 1,2 metrin etäisyydellä 300 mm ja siitä eteenpäin 100 mm 2,4 metrin etäisyydellä. Sokkelin alapuoli on eristetty 160 mm PU-eristelevyllä. Alapohjan U-arvo on 0,07 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksessa on puurunkoinen ulkoseinä. Ulkoverhouspaneelin takana on 32 mm pystykoolaus, joka toimii rakenteen tuuletusrakona. Koolaus on kiinni kantavassa pystyrungossa, jonka välissä on lämmöneristyksenä 200 mm PU-eristettä. Rungon sisäpinnassa on lämmöneristyksenä 80 mm PU-eristettä, jonka pinnassa on koolaus sisäverhoukselle. Sisäverhouksen alla oleva pystykoolaus toimii myös asennustilana. Ulkoseinän U-arvo on 0,09 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurunkoinen harjakatto, jonka katemateriaalina teräksinen vesikat-tolevy. Yläpohja on kannatettu kattoristikoin, joiden alapintaan on kiinnitetty läm-möneristykseksi 160 mm PU-eristettä. Kattoristikoiden välissä on lämmöneristyksenä 200 mm PU-eristettä. Alapinnassa oleva eristelevy toimii yläpohjan höyrinsulkuna ja sen pinnalla on 22 mm ristikoolaus sisäkaton verhoukselle. Yläpohjarakenteen U-arvo 0,07 W/m²K.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on matalaenergiaikkunat, joissa on nelinkertainen lasitus. Ikkunat ovat U-arvoltaan 0,70 W/m²K. Ulko-ovien U-arvo on 0,60 W/m²K.

4.3.4 Talotekniikka

Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on kaukolämmöllä lämmitettävä vesikiertoinen lattialämmitys sekä varaava takka. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on 0,50 (1/h). Rakennuksen laskennallinen sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään 21 °C ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan 25 °C.

4.3.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkasteluajanjakson 8/2010 – 8/2011 aikana raken-nuksessa asui 4 aikuista.

| Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 205,0 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 597,0 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,42 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 80,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 21 761 | kWh/a |
| Lämmitys | 9 861 | kWh/a |
| Laitteet | 11 900 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | 25 000 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 91 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 104 | kWh/(m ² a) |

4.3.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi, että asukkaat ovat melko tyytyväisiä asunnonlämpökavuuteen talvisin ja kesäisin. Kesäisin asunnon huonetilat koettiin lämpimiksi. Heillä on jonkinlainen mahdollisuus säätää lämmitysjärjestelmästä asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma melko puhtaaksi ja melko raikkaaksi. Asukkailla on jonkinlainen mahdollisuus säätää ilmastointijärjestelmäänsä ja kokevat asunnon melko hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja ne saavat sopivasti suoraa auringonvaloa talvisin, mutta kesäisin hieman liikaa. Asunnossa on uusittu ilmanvaihtokone. Muita korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä ei ole tarvinnut suorittaa rakennuksen valmistumisen jälkeen.

4.3.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

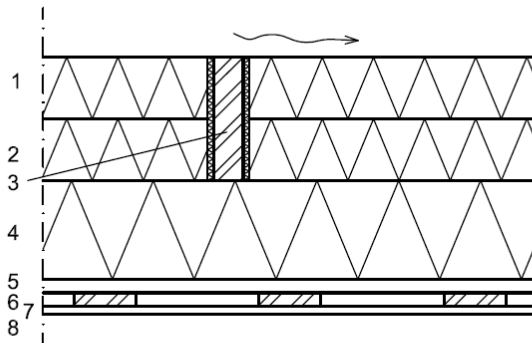
VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen yläpohjarakenteen (YP5) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen.

Rakennuksen ulkoseinärakenteelle on tehty erillinen VTT:n kosteustekninen toimivuus-tarkastelu /9/. Rakenne ei ole aivan tarkalleen samanlainen kuin kohteessa käytetty, mutta kosteusteknisen tarkastelun kannalta sillä ei ole merkitystä. Em. raportissa on tarkasteltu kahta hyvin samankaltaista rakennetta: rungon välissä joko 160 tai 100 mm SPU eristettä ja sisäpuolella yhtenäisenä joko 120 tai 160 mm SPU eristettä. Johtopäätöksenä voitiin todeta, että rakenteen kosteustekninen toiminta on turvallista Suomen ilmastossa ja asuinkäyttöön tarkoitettussa sisäilman kuormitusoloissa. Rakenteen toimivuuden riskit ovat samoja kuin yleensäkin tuuletetuilla rakenteilla.

Rakennuksen alapohjarakenteelle on tehty erillinen VTT:n kosteustekninen toimivuus-tarkastelu /10/. Rakenne ei ole aivan tarkalleen samanlainen kuin kohteessa käytetty, mutta kosteusteknisen tarkastelun kannalta sillä ei ole merkitystä. Tässä raportissa käytetty PU eristepaksuus oli 200 mm (diffuusiotiiviit eristeet). Rakenteen selväpiirteisyyden takia sitä ei ole analysoitu laskennallisesti vaan selvitys on tehty pelkästään asiantuntemukseen perustuen. Johtopäätöksenä oli että rakenne on kosteusteknisesti toimiva, ja toimivuuden edellytykset samat kuin yleensäkin maanvaraisissa ja höyrynsulullisissa alapohjarakenteissa.

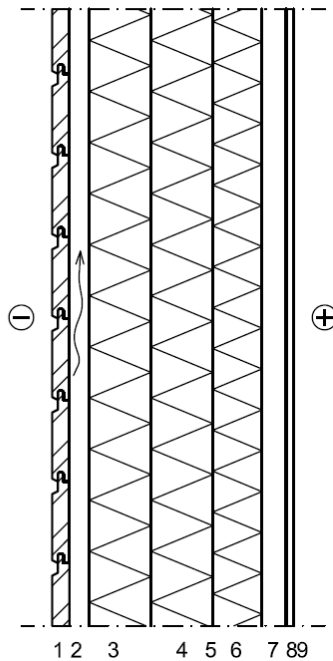
4.3.8 Mallirakenteet

Kuvassa 1 esitetään PU-teollisuuden kohteeseen 11 pohjautuvia mallirakenteita



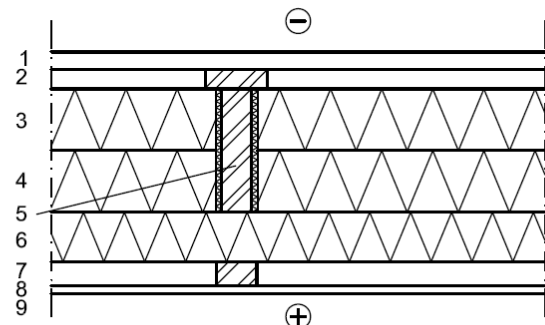
YLÄPOHJARAKENNE, U-arvo 0,07 W/m²K

1. PU eriste 100 mm, paarteiden välissä
2. PU eriste 100 mm, paarteiden välissä
3. Kattoristikon alapaarre
4. PU eriste 160 mm, yhtenäisenä kerroksena rungon sisäpuolella
5. Harvalauta, 22x100mm k600
6. Harvalauta, 22x100mm k300
7. Kipsilevy 13 mm
8. Pinnoite



ULKOSEINÄRAKENNE, U-arvo 0,09 W/m²K

1. Ulkoverhouslauta 28 mm
2. Tuuletusväli, pystyynkoolaus 32x100mm k600
3. PU eriste 100 mm, rungon välissä
4. PU eriste 100 mm, rungon välissä
5. Runkotolpat, 48x198mm k600
6. PU eriste 80 mm, yhtenäisenä kerroksena rungon sisäpuolella
7. Asennustila, pystyynkoolaus 39x66mm k600
8. Kipsilevy 13 mm
9. Pinnoite



ALAPOHJARAKENNE, U-arvo 0,07 W/m²K

1. Pinnoitevaraus 20 mm
2. Teräsbetonilaatta 80 mm
3. PU eriste 100 mm, yhtenäisenä kerroksena
4. PU eriste 160 mm, yhtenäisenä kerroksena
5. Täyttöhiekka noin 600 mm
6. Kapillaarikatko 400 mm
7. Perusmaa tai hiekkatäyttö

5 EPS-teollisuuden kohteita

5.1 Kohde 12 Littoinen

5.1.1 Yleistiedot

Kohde on Varsinais-Suomessa sijaitseva 202 m² puolitoistakerroksinen omakotitalo, joka on valmistunut 2008. Rakennuksen runkona on valettu valumuottiharkko, jonka lisälämmöneristetty ulkopinta on ohutrapattu. Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys.

5.1.2 Sijainti tontilla

Rakennus on suunnattu etelään, mutta sen suuntausta rajoitti asemakaavassa määritetty talon tiensuuntainen sijoitus. Aurinkosuojauksena toimii osalle tonttia jätetty puusto. Talon ilmanvaihtokone on sijoitettu rakennuksen pohjoispäättyyn.

5.1.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on maanvarainen teräsbetonialapohja. Alapohjassa salaojiin kallistetun perusmaan päällä on tiivistetty kapillaarinousun estävä sorakerros. Sorakerroksen päällä on lämmöneristysenä 350 mm IR-EPS-eristettä, jonka päälle on valettu 100 mm teräsbetonilaatta. Lämmöneristekerroksen ja laatan väliin on levitetty suodatinkangas, jonka tarkoituksena pienentää kitkaa laatan ja alusrakenteiden välillä sekä estää betonimassan valuminen eristelevyjien väleihin. Routaeristysnä on 100 mm EPS-eristettä, joka on ulotettuna metrin etäisyydelle sokkelista. Anturan ja sokkelin ulkopinnassa on salaojittava lämmöneristelevy. Anturan ala- ja sisäpuoli on eristetty EPS-eristeellä. Alapohjan U-arvo on 0,08 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksen kantavat ulkoseinät muodostuvat betonilla valetusta EPS-muottiharkkorakenteesta. Harkon sisä- ja ulkokuorissa on 80 mm EPS-eristettä, joiden väliin on valettu 140 mm teräsbetoniseinä. Harkon ulkopintaan on liimattu lisäeristykseksi 150 mm IR-EPS-eristettä. Eristeen pinnalla on lasikuituverkolla vahvistettu ohut-rappaus. Ulkoseinän U-arvo on 0,12 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurunkoinen harjakatto, jonka katemateriaalina on konesaumattu peltikatto. Yläpohja on kannatettu kattotuoleilla, joiden väliin on asennettu 100 mm kivivillaa, jonka päällä on 600 mm puhallusvillaa. Kattoristikoiden alapinnassa kiertää yhtenäinen höyrynsulkumuovi, jonka saumat on teipattu ja tuettu. Höyrynsulun sisäpinnassa on koolaus sisäkaton verhoukselle. Yläpohjarakenteen U-arvo 0,06 W/m²K.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on matalaenergiaikkunat, joissa kiinteissä ikkunoissa on kolminkertainen ja avattavissa nelinkertainen lasitus. Ikkunat ovat U-arvoltaan 0,81 W/m²K. Ulko-oviin on tehty ovilasitusten ja eristysten parannuksia, jolloin on vakiomallisista ovista saatu energiatehokkaita. Ulko-ovet ovat U-arvoltaan 0,40 W/m²K.

5.1.4 Talotekniikka

Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys, jota lämmitetään vesikiertotakalla ja suoralla sähköllä. Vesikiertoinen takkasydän on yhdistetty lämmin-vesivaraajaan, jossa vesi lämpiää haluttuun lämpötilaan. Kun vesikiertotakka saavuttaa halutun lämpötilan, vesi palautetaan lämminvesivaraajaan ja on valmis käytettäväksi käyttövetenä tai jaettavaksi lattialämmitykseen. Rakennuksen ympärillä routalevyn alla on maalämmön keruuputkisto. Putkistossa kiertää ympäri vuoden noin 5 - 10 asteinen neste, jota voidaan hyödyntää talviaikana tuloilman esilämmityksessä ja kesäaikana viilennyksessä. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on 0,80 (1/h). Rakennuksen mitattu sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään 21 °C ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan 22 °C.

5.1.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkasteluajanjakson 1/2011 – 1/2012 aikana rakennuksessa asui 2 aikuista ja 2 lasta.

| Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus | | |
|---|-------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 201,0 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 550 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,40 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 80,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 17831 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus (v.2011) | 7 882 | kWh/a |
| Lämmitys | 5002 | kWh/a |
| Polttoaine (puu) | 2 800 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 81 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 114 | kWh/(m ² a) |

5.1.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi, että asukkaat ovat erittäin tyytyväisiä asunnonlämpömuukavuuteen talvisin ja melko tyytyväisiä kesäisin. Kesäisin he kokivat yläkerrassa sijaitsevan keittiön ja olohuoneen lämpimäksi. Asukkailla on hyvä mahdollisuus säätää asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma puhtaaksi ja raikkaaksi. Asukkaat voivat hyvin säätää ilmastointijärjestelmäänsä ja kokevat asunnon erittäin hiljaiseksi. Rakennuksen kiinteissä kolmilasisissa ikkunoissa esiintyy kovilla pakkaskausilla veden tiivistymistä sisäpinnan reunoihin. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja ne saavat sopivasti suoraa auringonvaloa kesäisin, mutta talvisin auringonvaloa on hieman liian vähän. Asunnossa ei ole tarvinnut suorittaa korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä sen valmistumisen jälkeen.

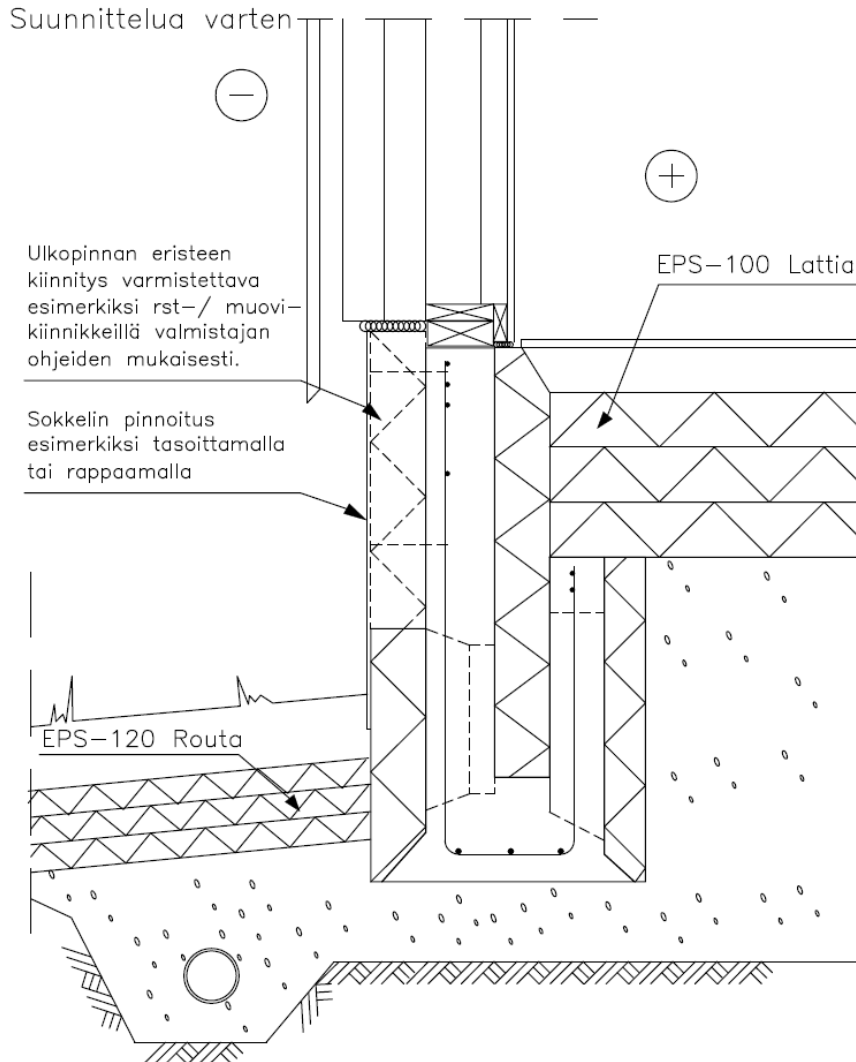
5.1.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

Kohteen yläpohjarakenne on samankaltainen kuin kohteessa 3, jonka yläpohjan kosteustekninen toimivuus on esitetty kohdassa 2.3.7. Sen perusteella yläpohjarakenteen kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen ja riskit ovat samoja ulkopuolen veden tunkeutumisesta aiheutuvia kuin millä tahansa vastaavasti toteutetulla yläpohjaratkaisulla.

Kohteen alapohjarakenne on kosteusteknisesti toimiva ja toimivuuden edellytykset ovat samat kuin yleensä maanvaraisissa alapohjarakenteissa.

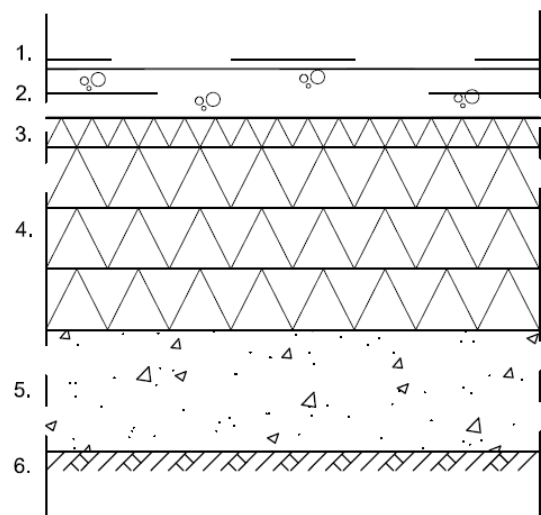
5.1.8 Mallirakenteet

Kuvassa 1 esitetään EPS-teollisuuden kohteeseen 12 pohjautuvat alapohjan ja sokkelin mallirakenteet

**ALAPOHJA**

- | | |
|---------------|---|
| | 1. Pintamateriaali ja -käsittely, huoneselityksen mukaan |
| 100 mm | 2. Teräsbetonilaatta |
| 50 mm | 3. Lattiaeriste EPS ($\lambda=0,033$) levykoko 1200x2000, saumat pontattu |
| 300 mm | 4. Lattiaeriste IR-EPS ($\lambda=0,031$) (3x100 mm), levykoko 1200x2000, saumat limitetty |
| ≥ 200 mm | 5. Salaojituskerros, tiivistetty sepelli $\varnothing 6...16$ mm |
| | 6. Perusmaa, kallistus salaojiin päin 1:50 |

U-arvo: 0,08 W/m² K



5.2 Kohde 13 Littoinen

5.2.1 Yleistiedot

Kohde on Varsinais-Suomessa sijaitseva 253 m² kaksikerroksinen omakotitalo, joka on valmistunut vuonna 2009. Rakennuksen runkona on lämpöeristetty valuharkko. Lisälämmöneristetty pinta on ohutrapattu. Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys.

5.2.2 Sijainti tontilla

Rakennus sijaitsee pienen mäen rinteessä ja se on suunnattu suoraan etelään. Etelän puoleisella julkisivulla on suuria ikkunoita, jotka hyödyntävät talvella auringon lämmön. Ikkunoiden ulkopuolella sijaitsevat kaihtimet suojaavat kesäiseltä auringonpaisteelta. Etelän puoleiselle lappeelle on sijoitettu aurinkolämpöpaneelit.

5.2.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on maanvarainen alapohja. Alapohjassa salaojiin kallistetun perusmaan päällä on tiivistetty kapillaarinousun estävä sorakerros. Sorakerroksen päällä on lämmöneristyksenä 400 mm IR-EPS-eristettä, jonka päälle on valettu 100 mm teräsbetonilaatta. Rakennuksen sokkelina toimii valuharkko, jossa on valmiiksi asennettuna EPS-eriste. Routaeristyksenä on 100 mm EPS-eristettä, joka ulotettu metrin etäisyydelle sokkelista. Sokkelin ja ulkoseinän välinen kylmäsilta on katkaistu muuraamalla sokkelin ylimmän harkkorivin päälle ohut EPS-eristekerros. Alapohjan U-arvo on 0,05 W/m²K.

Ulkoseinä

Rakennuksen ulkoseinän kantavana runkona on betonilla valettu 350 mm lämpöeristetty valuharkko. Harkko koostuu ontelollisista betonikuorista ja niiden väliin vaarnaliitoksella kiinnitetystä 118 mm EPS-eristeestä. Harkon ulkopuoli on lisäeristetty 200 mm IR-EPS eristeellä, joka on kiinnitetty kiven pintaan kiinnityslaastilla. Lämmöneristekerroksen päällä on ohutrappaus, joka on paksuudeltaan 5 – 7 mm. Ohutrappaus on vahvistettu lasikuitulujitetulla rappausverkolla. Ulkoseinän U-arvo on 0,10 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurunkoinen pulpettikatto, jonka katemateriaalina on kolmiorimahuopa. Yläpohja on kannatettu kattotuoleilla, joiden välissä on lämmöneristyksenä 100 mm kivivillalevy, jonka päällä 700 mm puhallusvillaa. Kattoristikoiden alapinnassa kiertää yhtenäinen höyrynsulkumuovi, jonka saumat on teipattu ja tuettu. Höyrynsulun sisäpinnassa on koolaus sisäkaton verhoukselle. Yläpohjan U-arvo on 0,05 W/m²K.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on matalanenergiaikkunat, joissa on kolminkertainen lasitus. Ikkunoiden pieni g-arvo on talvella olennaista auringonpaisteen lämmön hyödyntämisessä. Ikkunat ovat U-arvoltaan 0,65 W/m²K ja g-arvoltaan 0,65. Ulko-ovet ovat matalaenergiaovia, joiden välissä on EPS-eriste. Ulko-ovet ovat U-arvoltaan 0,5 W/m²K.

5.2.4 Talotekniikka

Rakennuksessa on lämmitysjärjestelmänä vesikiertoinen lattialämmitys. Lattialämmityksen lämmönlähteinä aurinkolämpöjärjestelmä sekä tulisijat, joissa on savukaasun lämmöntalteenotto. Lämmöntalteenotto ottaa talteen hukkalämmön saunan kiukaasta ja lataa lämmön teknisessä tilassa olevaan lämminvesivaraajaan, johon lämpöä tuotetaan lisäksi katolle sijoitetulla aurinkolämpöjärjestelmällä. Rakennuksen ympärillä on maalämmön keruuputkisto. Putkistossa kiertää ympäri vuoden noin 5 - 10 asteinen neste, jota voidaan hyödyntää talviaikana tuloilman esilämmityksessä ja kesäaikana viilennyksessä. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on 0,5 1/h. Rakennuksen mitattu

sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään 21 °C ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan 23 °C.

5.2.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkasteluajanjakson 8/2011 – 8/2012 aikana rakennuksessa asui 2 aikuista ja 3 lasta.

| Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 230,0 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 684,0 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,36 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 92,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 12 001 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | 6 773 | kWh/a |
| Lämmitys | 500 | kWh/a |
| Polttoaine (puu) | 3 200 | kWh/a |
| Jäähdytys | 73 | kWh/a |
| Käyttäjät | 3 000 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 74 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 102 | kWh/(m ² a) |

5.2.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi asukkaiden tyytyväisyys asunnonlämpömuokavuuteen kesäisin ja talvisin. Asukkailla on hyvä mahdollisuus säätää asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma on puhtaaksi ja raikkaaksi, mutta talvisin melko kuivaksi. Sisäilman kuivuus talvisin johtuu ilmastointilaitteen sisään tuomasta kuivasta ulkoilmasta. Asukkaat voivat hyvin säätää ilmastointijärjestelmäänsä ja kokevat asunnon erittäin hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja ne saavat sopivasti suoraa auringonvaloa kesäisin ja talvisin. Asunnossa ei ole tarvinnut suorittaa korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä sen valmistumisen jälkeen.

5.2.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

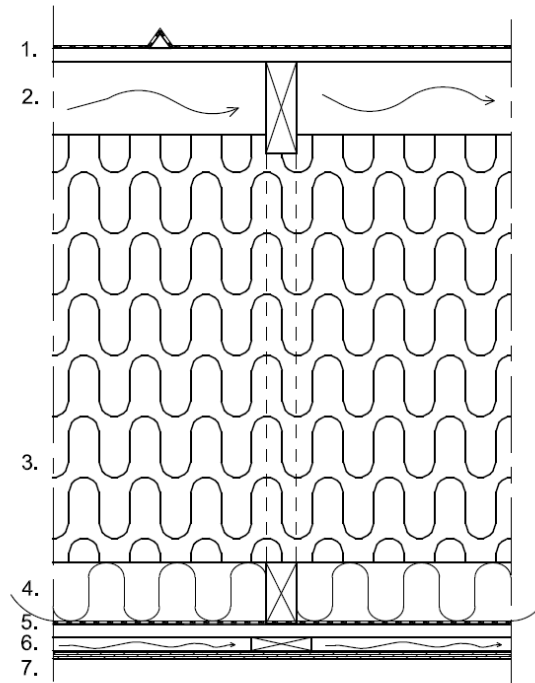
VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen ulkoseinärakenteen (US 22) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen.

VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen yläpohjarakenteen (YP 10) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen. Sen riskit ovat samoja ulkopuolen veden tunkeutumisesta aiheutuvia kuin millä tahansa vastaavasti toteutetulla yläpohjaratkaisulla.

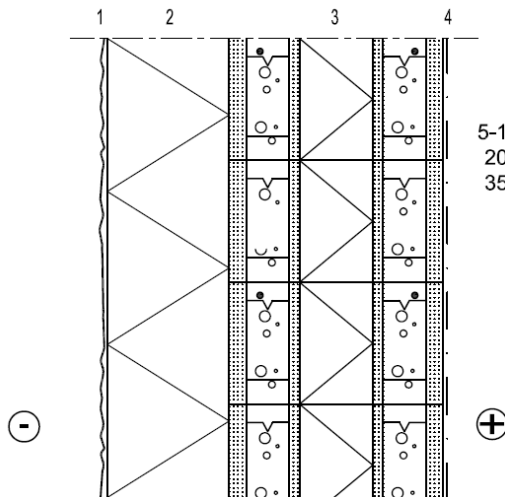
Kohteen alapohjarakenne on kosteusteknisesti toimiva ja toimivuuden edellytykset ovat samat kuin yleensä maanvaraisissa alapohjarakenteissa.

5.2.8 Mallirakenteet

Kuvassa 1 esitetään EPS-teollisuuden kohteeseen 13 pohjautuvia mallirakenteita

**YLÄPOHJA**

1. Huopakate kolmiorimoin
 2. Tuuletusrako
 3. Puhallusvilla
700 mm
 4. Kova mineraalivilla
100 mm
 5. Höyrysulku
40 mm
 6. Ristiinkoolaus
10-15 mm
 7. Sisäkattolevy
- U-arvo 0,05 W/m² K

**SEINÄ**

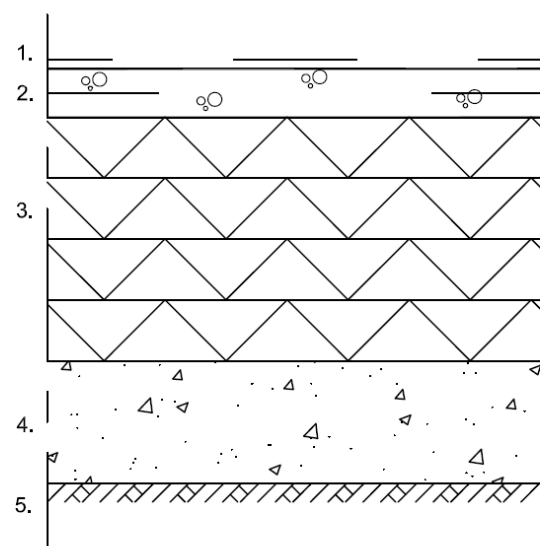
1. Ohutrappaus
5-10 mm
2. Seinäeriste IR-eps
200 mm
3. Lämpöeristetty valuharkko (EPS)
350 mm
4. Pintamateriaali ja -käsittely
huoneselityksen mukaan

U-arvo: 0,10 W/m² K

ALAPOHJA

1. Pintamateriaali ja -käsittely,
huoneselityksen mukaan
100 mm
2. Teräsbetonilaatta
3. Lattiaeriste IR-eps (4x100 mm), saumat limitetty
400 mm
4. Salaojituseros, tiivistetty sepeli Ø 6...16 mm
≥ 200 mm
5. Perusmaa, kallistus salaojiin päin 1:50

U-arvo: 0,05 W/m² K



6 XPS-teollisuuden kohteita

6.1 Kohde 14 Espoo

6.1.1 Yleistiedot

Kohde on Uudellamaalla sijaitseva 154 m² yksikerroksinen massiivipuupalkkitalo, joka on valmistunut vuonna 2010. Lämmitysjärjestelmänä on suoralla sähköllä lämmitettävä vesikiertoinen lattialämmitys ja hitaasti lämpöä luovuttava takka.

6.1.2 Sijainti tontilla

Rakennus on sijoitettu melkein mäenpäälle etelärinteellä, joka mahdollistaa auringonlämmön tehokkaan hyödyntämisen. Rakennuksen pääjulkisivu on suunnattu suoraan etelään ja koko etelä seinustaa suojaa terassin katto. Tämä vähentää kesäisin auringonpaisteen aiheuttamaa sisätilojen lämpökuormaa, mutta talvisin pystytään hyödyntämään matalalta tulevan auringonpaisteen tuottama lämpö, joka paistaa sisään rakennuksen ala- ja yläikkunoista.

6.1.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on maanvarainen teräsbetonialapohja. Salaojiin kallistetun perusmaan päällä on tiivistetty kapillaarinousun estävä sorakerros, jonka päällä on lämmöneristyksenä 210 mm XPS-eristettä. Lämmöneristyskerroksen päälle on valettu 100 mm teräsbetoniaatta. Rakennuksen routaeristys on ulotettu kahden levyn (1,2 m) etäisyydelle sokkelista. Sokkelin reunoilla, nurkka-alueilla ja terassin alla on 100 mm XPS-eristettä ja ulompana 50 mm XPS-eristettä. Sokkelin sisäpinnassa on 80 mm XPS-eristettä ja ulkopinnassa 120 mm XPS-eristettä, joka on rapattu ulkopinnasta. Lisäksi anturassa on käytetty XPS-anturamuottia, joten anturan alla ja sivuilla on 70mm XPS-eristettä. Näin

anturan ja sokkelin kaikki mahdolliset kylmäsillat on katkaistu. Alapohjan U-arvo on $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ulkoseinät

Rakennuksessa on massiivipuurunkoinen ulkoseinä, jonka välissä on lämmöneristeenä 80 mm XPS-eristettä. Rungon ulkopuolella rakennusta kiertää yhtenäisenä kerroksena 200 mm XPS-eristettä. Lämmöneristykseen ulkopinnassa on koolaus, johon on kiinnitetty ulkoverhouspaneeli. Rungon välissä lähellä sisäpintaa on apukoolaus, jonka välissä on 45 mm ääneneristykseen tarkoitettua kivivillaa. Koolauksen päällä on sisäverhouslevy-nä 13 mm kipsilevy tai paneeli. Ulkoseinän U-arvo on $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Yläpohja

Rakennuksessa on pulpettikatto, jonka katemateriaalina on kattokuva. Yläpohjara-kenne on vino katto, joka on kannatettu liimapuupalkeilla. Palkit on jätetty alapuolelta näkyville ja niiden päällä on alakaton panelointi. Paneloinnin päällä on lämmöneristyk-senä 340 mm XPS -eristettä (30+30+280mm). Yläpohjarakenteen U-arvo on $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on puu-alumiini matalaenergiaikkunat, joiden karmit on ympäröity si-säpinnasta seinien massiivipuulla. Kiinteissä ikkunoissa on kolminkertainen ja avattavis-sa nelinkertainen lasitus. Kiinteät ikkunat ovat U-arvoltaan $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja avautuvat $0,86 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ulko-ovet ovat energiatehokkaita puuovia, jotka ovat U-arvoltaan $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

6.1.4 Talotekniikka

Lämmitysjärjestelmänä on suoralla sähköllä lämmitettävä vesikiertoinen lattialämmitys ja hitaasti lämpöä luovuttava takka. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on $0,50 \text{ (1/h)}$. Rakennuksen laskennallinen sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään $21 \text{ }^\circ\text{C}$ ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

6.1.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkasteluajanjakson 1/2011 – 1/2012 aikana rakennuksessa asui 2 aikuista. Omakotitalo käyttää lämmitykseen pääasiassa sähköenergiaa. Tämä aiheuttaa uuden RakMK D3 2012 mukaisen laskennallisen E-luvun nousun korkeaksi.

| Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 154,0 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 650,0 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,30 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 78,5 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 14 267 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | 9 300 | kWh/a |
| Lämmitys | 2 368 | kWh/a |
| Polttoaine (puu) | 1600 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 131 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 203 | kWh/(m ² a) |

6.1.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi, että asukkaat ovat erittäin tyytyväisiä asunnonlämpömuukavuuteen kesäisin ja talvisin. Asukkailla on hyvä mahdollisuus säätää asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma puhtaaksi ja raikkaaksi, mutta talvisin sisäilma melko kuivaksi. Sisäilman kuivuus talvisin johtuu ilmastointilaitteen sisään tuomasta kuivasta ulkoilmasta. Asukkaat voivat hyvin säätää ilmastointijärjestelmäänsä ja kokevat asunnon erittäin hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja ne saavat sopivasti suoraa auringonvaloa kesäisin ja talvisin. Asunnossa ei ole tarvinnut suorittaa korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä sen valmistumisen jälkeen.

6.1.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

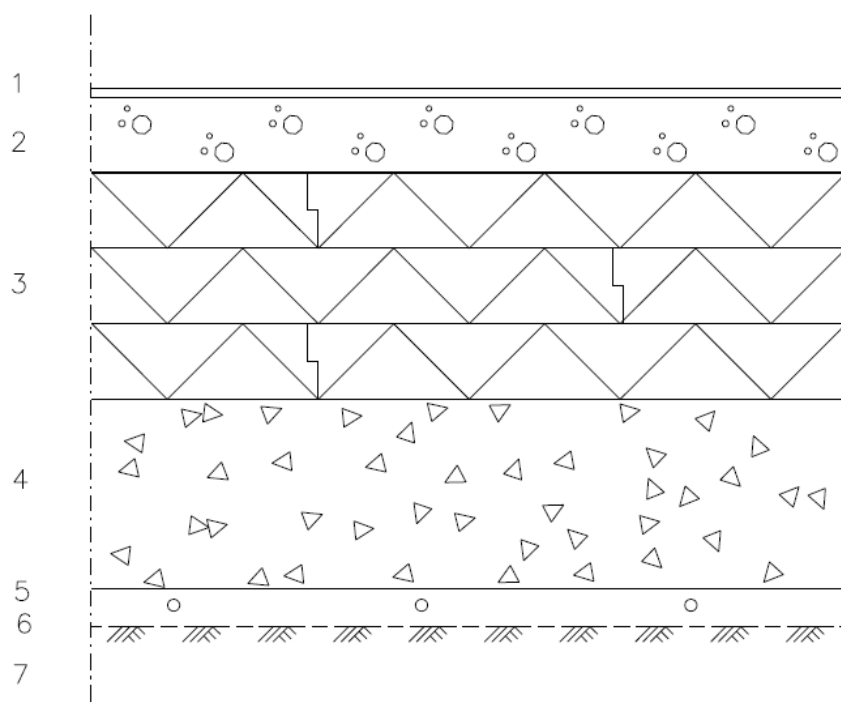
VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen ulkoseinärakenteen (US4) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen.

VTT:n tutkimusselostuksen (VTT-S-04438-12) /1/ mukaisesti kohteen yläpohjarakenteen (YP4) kosteustekninen toimivuus on laskennan perusteella turvallinen. Sen mahdolliset riskit liittyvät ulkoilman kosteuskuormitukseen samoin kuin vastaavissa muissa tuuletetuissa rakenteissa. Sisäilman kosteuskuormia vastaan rakenne on hyvin suojattu.

Kohteen alapohjarakenne on kosteusteknisesti toimiva ja toimivuuden edellytykset ovat samat kuin yleensä maanvaraisissa alapohjarakenteissa.

6.1.8 Mallirakenteet

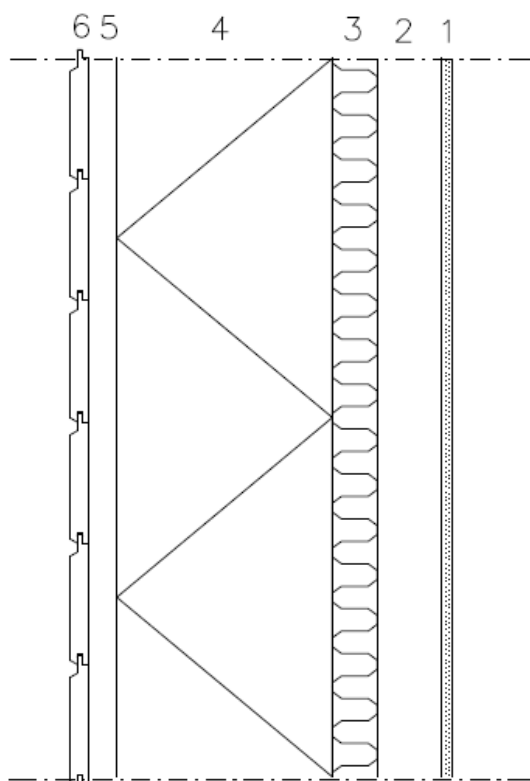
Kuvassa 1 esitetään XPS-teollisuuden kohteeseen 14 pohjautuva alapohjan mallirakenne



- 1 LATTIAPINNOITE HUONESELITYKSEN MUKAAN
- 2 BETONILAATTA 80...100 MM
- 3 XPS PUOLIPONTATTU 3x 100 MM
- 4 SEPELI 8...16 MM YLI 200 MM
- 5 HIEKKAKERROS JOSSA PASSIIVISET MAALÄMPÖ / -KYLMÄ PUTKET
- 6 SUODATINKANGAS
- 7 PERUSMAA

U-ARVO SAVI, HIEKKA JA SORA, SALAOJITETTU: 0,09

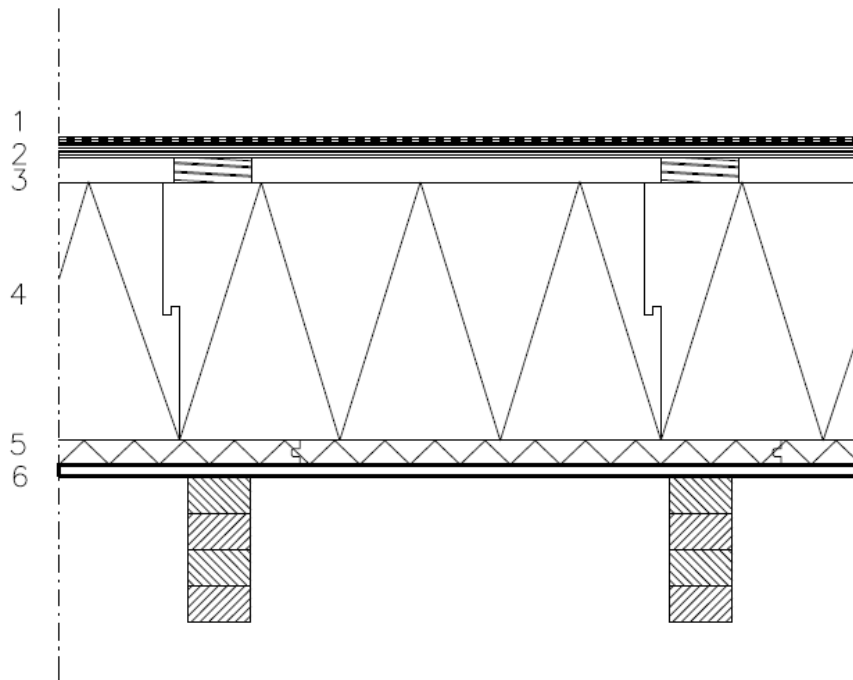
Kuvassa 2 esitetään XPS-teollisuuden kohteeseen 14 pohjautuva ulkoseinän mallirakenne



1. KIPSILEVY TAI MUU RAKENNUSLEVY
2. KANTAVA RUNKOTOLPPA + ILMAVÄLI
3. ERISTEVILLA MAX. 50 MM RUNGON VÄLISSÄ
4. XPS SEINÄERISTE, PAKSUUS 200...400 MM
5. KOOLAUS 32 MM LIIMATTUNA ERISTEeseen
6. ULKOVUORAUSPANEELI TAI -LEVY

U-ARVO: 0,13...0,07

Kuvassa 3 esitetään XPS-teollisuuden kohteeseen 14 pohjautuva yläpohjan mallirakenne



- 1 KATTOHUOPA ERILLISSUUNNITELMAN MUKAAN
- 2 PONTATTU VESIKATTOVANERI 18 MM
- 3 TUULETUSRAKOKOOLAUS 30 MM
- 4 XPS MULTI- TAI LUKKOPONTTI 320 MM ($\lambda = 0,031$)
- 5 XPS TÄYSPONTTI 30 MM, BUTYYLIMASSATIIVISTYS
- 6 SISÄKATTOMATERIAALI HUONESUUNNITELMAN MUKAAN

U-ARVO: 0,09

6.2 Kohde 15 Salo

6.2.1 Yleistiedot

Kohde on Varsinais-Suomessa sijaitseva 190 m² omakotitalo, joka on valmistunut vuonna 2011. Rakennuksen runko on betonielementtirakenteinen ja se on toteutettu 120 mm sisäkuorielementeillä ja osaksi valuharkoilla. Lämmitysjärjestelmänä on poistoilmalämpöpumppu.

6.2.2 Sijainti tontilla

Rakennus sijaitsee etelän suuntaan aukealla paikalla, joka mahdollistaa auringonlämmön tehokkaan hyödyntämisen. Rakennuksen terassin katto on suunnattu etelään, joka vähentää kesäisin auringonpaisteen aiheuttamaa sisätilojen lämpiämistä ja talvisin hyödyntää matalalta tulevan auringonpaisteen tuottaman lämmön, joka tulee sisään rakennuksen ikkunoista.

6.2.3 Rakenteet

Perustukset ja alapohja

Rakennuksessa on maanvarainen teräsbetonialapohja. Alapohjassa salaojiin kallistetun perusmaan päällä on hiekkakerros, johon on sijoitettu passiiviset maalämpö ja – kylmä putket. Hiekkakerroksen päällä on tiivistetty kapillaarinousun estävä sorakerros, jonka päällä on lämmöneristyksenä 300 mm XPS-eristettä. Lämmöneristyskerroksen päälle on valettu 100 mm teräsbetonilaatta. Betonilattian päälle on asennettu parketti ja ainoastaan märkätiloissa on laattalattiat. Routasuojauksena on sokkelin ympärillä 120 mm XPS-eristettä ulotettuna 0,6 metrin etäisyydelle ja 60 mm XPS-eristettä 0,6 - 1,2 metrin etäisyydellä. Alapohjan U-arvo on 0,10 W/m²K.

Ulkoseinät

Rakennuksen ulkoseinän runko on 120 mm betonielementeistä, jonka ulkopintaan on kiinnitetty laastiliimauksella 400 mm XPS-eristettä. Lämmöneristeeseen on kiinnitetty 30 mm koolaus ulkovuorauspaneelille. Ulkoseinän U-arvo on 0,07 W/m²K.

Yläpohja

Rakennuksessa on puurunkoinen harjakatto, jonka katemateriaalina on kattuhuopa. Yläpohjarakenne on vino katto, joka on kannatettu kertopuupalkeilla. Kertopuupalkkien välissä on ääneneristystarkoituksessa 50 mm kivivillaa ja 150 mm XPS-eristettä ja kertopuupalkkien ulkopuolella yhtenäisenä kerroksena 250 mm XPS-eristettä eli yhteensä XPS-eristeen paksuus on 400 mm. Yläpohjarakenteen U-arvo 0,07 W/m²K.

Ikkunat ja ovet

Rakennuksessa on matalaenergiaikkunat. Kiinteissä ikkunoissa on kolminkertainen ja avattavissa nelinkertainen lasitus. Ikkunat ovat U-arvoltaan 0,80 W/m²K. Ulko-ovet ovat energiatehokkaita puuovia, jotka ovat U-arvoltaan 0,80 W/m²K.

6.2.4 Talotekniikka

Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on sähköllä toimiva poistoilmalämpöpumppu ja varaava takka, jonka hormista on lämmöntalteenotto. Poistoilmalämpöpumppua käytetään lämmityksen ohella käyttöveden lämmitykseen. Rakennuksen mitoitettu ilmanvaihto on 0,50 (1/h). Rakennuksen mitattu sisälämpötila on lämmityskaudella minimissään 21 °C ja lämmityskauden ulkopuolella maksimissaan 25 °C.

6.2.5 Energiankulutus ja laskennallinen passiivitaso

Rakennuksen energiakulutuksen tarkasteluajanjakson 6/2011 – 6/2012 aikana rakennuksessa asui 2 aikuista ja 2 lasta.

| Energiankulutus ja rakennustason energiatehokkuus | | |
|---|--------|--------------------------|
| Lämmitetty nettoala (RakMK D3 2012) | 186,0 | hyöty-m ² |
| Ilmatilavuus (lämpimät tilat) | 1 050 | m ³ |
| Mitattu ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 0,54 | 1/h |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 80,0 | % |
| Laskennallinen ostoenergia | 15 319 | kWh/a |
| Mitattu energiankulutus | 13 950 | kWh/a |
| Lämmitys | 550 | kWh/a |
| Tekniset laitteet | 5 000 | kWh/a |
| Talous | 8 000 | kWh/a |
| Polttoaine (puu) | 400 | kWh/a |
| Laskennallinen ET-luku | 99 | kWh/(brm ² a) |
| Laskennallinen E-luku (RakMK D3 2012) | 107 | kWh/(m ² a) |

6.2.6 Asukkaiden tyytyväisyys sisäilmastoon

Kohteen asukkaille tehdystä sisäilmastokyselystä käy ilmi, että asukkaat ovat erittäin tyytyväisiä asunnonlämpömuukavuuteen kesäisin ja talvisin. Asukkailla on hyvä mahdollisuus säätää asunnon lämpötilaa, eikä asunnossa ole vedon tunnetta. Asunnon ilmanvaihto koetaan toimivaksi ja sisäilma puhtaaksi ja raikkaaksi. Asukkaat voivat hyvin säätää ilmastointijärjestelmäänsä ja kokevat asunnon erittäin hiljaiseksi. Asunnon sisätilat ovat sopivan valoisat ja ne saavat sopivasti suoraa auringonvaloa kesäisin ja talvisin. Asunnossa ei ole tarvinnut suorittaa korjaus- tai kunnostustoimenpiteitä sen valmistumisen jälkeen.

6.2.7 Rakenteiden kosteustekninen toimivuus

Kohteen rakenteiden mallinnuksen teki Insinööritoimisto Vahanen WUFI Pro 4.2 IBP -ohjelmalla.

Kohteen ulkoseinärakenteen laskennallisen tarkastelun perusteella homehtumisriski XPS-eristeessä on olemassa. XPS-eriste ei ole kuitenkaan homehtuva materiaali /11/, joten rakennetta voidaan pitää toimivana. Myöskään betonin ja XPS-eristeen rajapin-

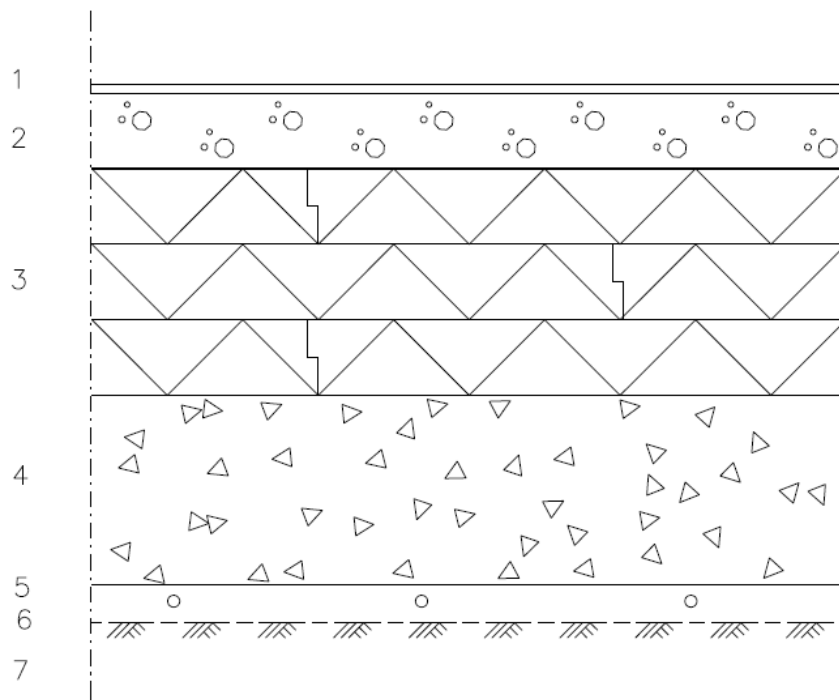
nassa ei ole edellytyksiä homeenkasvulle, kun XPS-eriste liimataan suoraan tuoreeseen betoniin, jolloin rajapintaan ei jää ilmatilaa, johon homehtuvaa ainesta voisi kulkeutua.

Kohteen yläpohjarakenteen kaksiulotteisella tarkastelulla haluttiin varmistua rakenteen tuuletuksen ja urajaon riittävydestä. Tarkastelun perusteella hyvin vähäinen ilmamäärä riittää poistamaan XPS-eristeen läpi diffuusiolla siirtyvän kosteuden. Yläpohjarakenteen rakennekosteuslähteinä ovat kipsilevy ja vasat. Tarkastelujen perusteella uratuuletetun rakenteen kosteus tasaantuu varsin nopeasti tasolle, jossa ei ole olemassa homehtumisriskiä, kun vasausten rakennekosteus on pidetty matalana.

Kohteen alapohjarakenne on kosteusteknisesti toimiva ja toimivuuden edellytykset ovat samat kuin yleensä maanvaraisissa alapohjarakenteissa.

6.2.8 Mallirakenteet

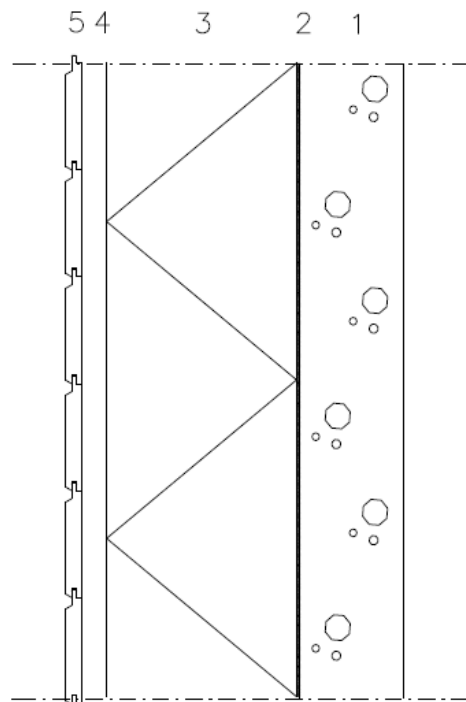
Kuvassa 1 esitetään XPS-teollisuuden kohteeseen 15 pohjautuva alapohjan mallirakenne



- 1 LATTIAPINNOITE HUONESELITYKSEN MUKAAN
- 2 BETONILAATTA 80...100 MM
- 3 XPS PUOLIPONTATTU 3x 100 MM
- 4 SEPELI 8...16 MM YLI 200 MM
- 5 HIEKKAKERROS JOSSA PASSIIVISET MAALÄMPÖ / -KYLMÄ PUTKET
- 6 SUODATINKANGAS
- 7 PERUSMAA

U-ARVO SAVI, HIEKKA JA SORA, SALAOJITETTU: 0,09

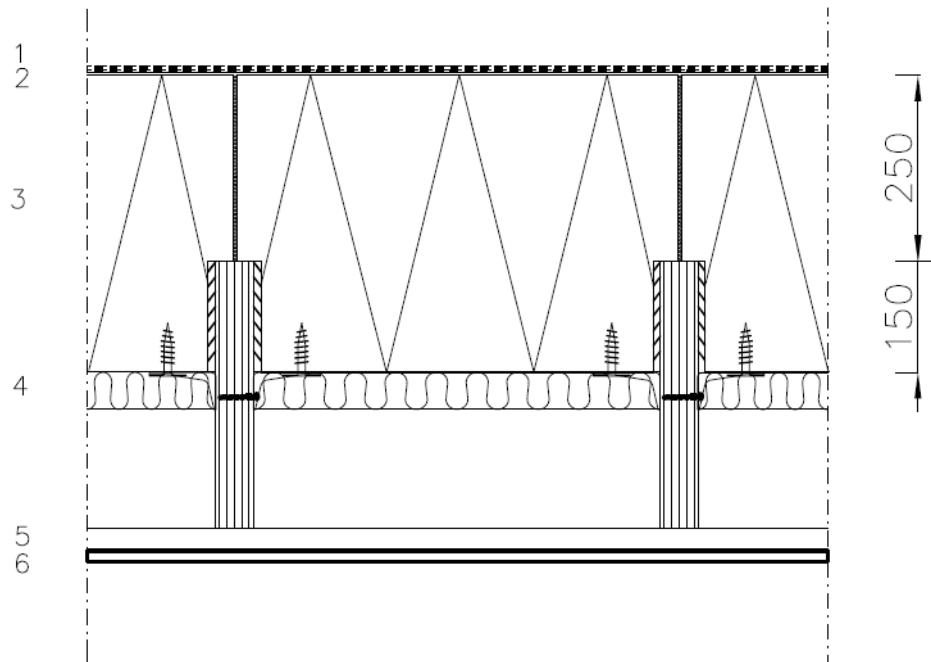
Kuvassa 2 esitetään XPS-teollisuuden kohteeseen 15 pohjautuva ulkoseinän mallirakenne



1. KANTAVA BETONISEINÄ 130 MM
2. SANEERAUSLAASTIKIINNITYS TAI ERISTEEN KIINNITYS VALUSSA
3. XPS SEINÄERISTE, PAKSUUS 200...400 MM
4. PANEELIN KOOLAUS 30 MM LIIMATTUNA ERISTEeseen
5. ULKOVUORAUSPANEELI

U-ARVO: 0,15...0,07

Kuvassa 3 esitetään XPS-teollisuuden kohteeseen 15 pohjautuva yläpohjan mallirakenne



- 1 KATTOHUOPA ERILLISUUNNITELMAN MUKAAN
- 2 VERKOTETTU LAASTI
- 3 XPS KATTOERISTE 400 MM ($\lambda=0,031$) TIIVISTETTY KATTOKANNATAJIIN
KATTOKANNATAJAT RAKENNESUUNNITELMAN MUKAAN
- 4 MINERAALIVILLA 50 MM
- 5 KOOLAUS 30x100 K400
- 6 SISÄKATTOMATERIAALI HUONESUUNNITELMAN MUKAAN

U-ARVO: 0,07

7 Viiteluettelo

- /1/. Passiivirakenteiden kosteusteknisen toimivuuden laskennallinen tarkastelu. Tutkimusselostus Nro VTT-S-04438-12. VTT. 18.06.2012
- /2/. Nieminen, Jyri. Passiivirakentaminen. Paroc Lupaus. Yhteenvetoraportti. VTT. 2009
- /3/. Tutkimusselostus Nro VTT-S-03188-11. VTT. 2011
- /4/. Tutkimusselostus Nro VTT-S-07325-10. VTT. 2010
- /5/. Tutkimusselostus Nro VTT-S-00397-09. VTT. 2009
- /6/. Tutkimusselostus Nro VTT-S-10928-08. VTT. 2008
- /7/. Tutkimusselostus Nro VTT-S-00434-09. VTT. 2009
- /8/. Tutkimusselostus Nro VTT-S-00430-09. VTT. 2009
- /9/. Tutkimusselostus Nro VTT-S-00428-09. VTT. 2009
- /10/. Tutkimusselostus Nro VTT-S-00434-09. VTT. 2009
- /11/. Tutkimusselostus Nro VTT-S-06674-10. VTT. 2010